

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

XV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2017)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том I

МОСКВА 2017

УДК 551.46.07
ББК 26.221, М 34

**Современные методы и средства океанологических исследований:
Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции
«МСОИ-2017». Том I. – М., 2017. – 329 с.
ISBN**

Настоящее издание содержит материалы конференции МСОИ-2017. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные созданию и эксплуатации технических средств и методов исследования и освоения Мирового океана.

В томе I рассмотрены современные гидрофизические подводные измерительные приборы и комплексы, методы зондирования океана, технологии геолого-геофизических ресурсных исследований в океане.

This publication contains the materials of МСОИ-2017 conference. The reports of scientists-oceanographers, engineers and students included in this edition are dedicated to the development and application of technical equipment and methods of exploring the World Ocean.

New hydro-physical underwater measuring devices and complexes, ocean sensing techniques, geological and geophysical research technologies are considered in volume I.

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-05-20083), Российской Академии наук, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Составители сборника: д.т.н. Римский-Корсаков Н.А.,
к.т.н. Зарецкий А.В.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2017

- | | | |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | Римский-Корсаков Н.А. | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, председатель |
| 2 | Нигматулин Р.И. | академик РАН, директор ИО РАН, сопредседатель |
| 3 | Смирнов Г.В. | академик РАН, зав. лабораторией ИО РАН, сопредседатель |
| 4 | Лобковский Л.И. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 5 | Завьялов П.О. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 6 | Флинт М.В. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 7 | Алексеев А.В. | чл.-корр.РАН, гл.н.с. ИО РАН |
| 8 | Жмур В.В. | д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ |
| 9 | Вельтицев В.В. | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 10 | Зарецкий А.В. | к.т.н., вед.н.с., ИО РАН, ученый секретарь |
| 11 | Вялышев А.И. | д.ф.-м.н, главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ |
| 12 | Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России |
| 13 | Мотыжѳв С.В. | д.т.н., Морской гидрофизический институт, Севастополь |
| 14 | Добролюбов С.А. | чл.-корр. РАН, декан географического факультета МГУ |
| 15 | Нересов Б.А. | д.т.н., гл.н.с., ИО РАН |
| 16 | Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск |
| 17 | Суконкин С.Я. | директор ОКБ ОТ РАН |

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2017

- | | | |
|---|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1 | Соков А.В. | председатель, д.г.н.
врио директора ИО РАН |
| 2 | Римский-Корсаков Н.А. | сопредседатель, д.т.н.,
зам. директора ИО РАН |
| 3 | Вельтищев В.В. | сопредседатель д.т.н.,
зав. каф. МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 4 | Островский А.Г. | сопредседатель, к.г.н.,
вед.н.с. ИО РАН |
| 5 | Зарецкий А.В. | ученый секретарь, к.т.н.,
вед.н.с. ИО РАН |

Члены оргкомитета:

- | | | |
|----|-------------------------|--------------------------------------------------------|
| 6 | Корчагин Н.Н. | д.ф.-м.н., гл.н.с. ИО РАН |
| 7 | Егоров А.В. | к.г.-м.н., зав.лабораторией
ИО РАН |
| 8 | Свиридов С.А. | зав. отделом инф. технологий ИО
РАН |
| 9 | Метальников А.А. | ст.н.с, к.ф.-м.н. ИО РАН |
| 10 | Смирнов А.В. | к.т.н., ученый секретарь НИИСМ
МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 11 | Карабашева Э.И. | научный сотрудник ИО РАН |
| 12 | Тихонова Н.Ф. | секретарь конференции |

Координационная рабочая группа:

Науч. сотр. Пронин А.А., вед. инж. Водяная Е.Г., ст. инж. Ёлкина М.М., вед. инж. Соколов А.А., вед. инж. Молчанов Б.В., Куликова Т.А., вед. инж. Марин В.М., инж. Белевитнев Я.И.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ГИДРОФИЗИКА

Развитие информационно-измерительных систем и новые измерительные каналы гидрофизических параметров <i>Смирнов Г.В., Оленин А.Л.</i>	14
Использование профилографа Аквалог в исследованиях синоптической циркуляции над склоном побережья Приморья в северо-западной части Японского моря <i>Каплуненко Д.Д., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Трусенкова О.О., Ладыченко С.Ю., Лазарюк А.Ю., Швоев Д.А.</i>	25
О возможности инструментальных измерений в прибрежной зоне моря в штормовых условиях <i>Пака В. Т.</i>	30
Характеристики мелкомасштабных процессов в морской среде по данным спутникового дистанционного зондирования <i>Станичный С.В., Кубряков А.А., Соловьёв Д.М., Станичная Р.Р., Алескерова А.А., Кудрявцев В.Н.</i>	34
Результаты дрейфтерных экспериментов на гидрофизическом полигоне ИО РАН (Геленджик) в 2016 году <i>Сильвестрова К.П., Мысленков С.А., Зацепин А.Г.</i>	35
Измерение и моделирование волнения в Голубой бухте (Геленджик) <i>Очередник В.В., Мысленков С.А.</i>	39
Опыт создания электронных климатических пособий для гидрометеорологического обеспечения ВМФ и перспективы их развития <i>Гасников О.А., Ставров К.Г.</i>	43
Гольфстрим: ложные представления и реальность <i>Бондаренко А.Л.</i>	47
Формирование долгопериодными волнами температурного поля поверхностных вод в районе Гольфстрима <i>Бондаренко А.Л.</i>	52
Открытие течений волновой природы – величайшее достижение океанографии XX века <i>Щевьёв В.А.</i>	56

Природа экваториальных противотечений океанов <i>Щевьев В. А.</i>	60
Динамика внутренних гравитационных волн в океане с учетом вращения земли <i>Булатов В.В., Владимиров Ю.В.</i>	63
Эффективные акустические характеристики приповерхностного слоя мелкого моря насыщенного пузырьками <i>Буланов В.А.</i>	67
Лидарный комплекс комбинационного рассеяния для проведения океанологических исследований <i>Завьялов А.К., Патраков Ю.М., Матвеевцев А.В., Ржевский А.А., Беспалов В.Г., Макаров Е.А., Жевлаков А.П.</i>	72
Наблюдения ВТВ из космоса <i>Скляр В.Е.</i>	76
Методика проведения измерений придонных течений в абиссальных каналах <i>Фрей Д.И., Морозов Е.Г.</i>	79
Короткопериодные колебания в поле плотности у побережья Приморья в Японском море (по данным профилографа аквалог) <i>Трусенкова О.О., Лазарюк А.Ю., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Ладыченко С.Ю., Каплуненко Д.Д.</i>	80
Численное исследование течений, свободных и вынужденных колебаний уровня Азовского моря, генерируемых перемещающимися барическими полями <i>Шульга Т.Я.</i>	84
Особенности формирования циркуляции в юго-восточной части Черного моря <i>Дымова О.А., Демьшев С.Г.</i>	88
Теоретическая оценка энергетических характеристик отражающей способности подводных частей айсбергов, как объектов акустического зондирования океана <i>Богородский А.В.</i>	93
Вертикальный перенос импульса инерционно-гравитационными внутренними волнами в Гибралтарском проливе <i>Слепышев А.А., Базатинский В.А., Лактионова Н.В.</i>	97

Сезонная изменчивость объемной активности радона в приземном слое атмосферы Черноморского побережья <i>Подымов И.С., Подымова Т.М.</i>	100
Потоки донной воды в абиссальных каналах <i>Морозов Е.Г.</i>	104
Результат использования принципа наименьшего действия в модели локальных диагностических расчётов морских течений <i>Соколов В.А.</i>	108
Полигонные исследования нелинейных внутренних волн в прибрежной зоне приливного моря <i>Новотрясов В.В., Пермяков М.С., Степанов Д.В., Яроуцук И.О.</i>	110
Обобщённый метод совместного статистического анализа термохалинных полей морских вод <i>Соколов В.А.</i>	114
Сезонная эволюция гидрофронта в районе устья Дуная <i>Цыганова М.В., Лемешко Е.М.</i>	115
Анализ температуры воды по данным термокосы на платформе Д6 в Балтийском море <i>Мысленков С.А., Кречик В.А., Бондарь А.В.</i>	119
Выбор информативных признаков в задаче радиолокационного обнаружения мономолекулярных пленок нефти на взволнованной поверхности моря <i>Бородин М.А., Пименов А.А.</i>	123
Опускание вод в экмановском слое, над наклонным дном и его возможная роль в вентиляции Черноморского аэробного слоя <i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.</i>	127
Морской радиометрический лидар ПЛД-1 <i>Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Родионов М.А.</i>	131
Некоторые оценки точности определения плотности морской воды гидростатическим методом <i>Федотов Г.А.</i>	135
Вихреразрешающее моделирование циркуляции Северной Атлантики и оценка влияния бароклинной стратификации плотности на ширину Гольфстрима <i>Дианский Н.А.</i>	139

Моделирование дрейфа айсбергов в западных морях российской Арктики <i>Панасенкова И.И., Фомин В.В., Дианский Н.А.</i>	141
Применение сетки с локальным улучшением пространственного разрешения для моделирования циркуляции южных морей России <i>Мизюк А.И.</i>	145
Распределение термохалинных параметров течения Ломоносова как свидетельство его статической неустойчивости <i>Демидова Т.А.</i>	148
О поле скорости течения Ломоносова по данным попутных измерений <i>Демидова Т.А., Фрей Д.И.</i>	150
Экспериментальное исследование взаимодействия внутренних волн с горизонтальной плотностной неоднородностью обусловленной интрузией <i>Полетаева М.А.</i>	152
Типизация синоптических ситуаций над Азовским морем на основе самоорганизующихся карт <i>Лемешко Е.Е.</i>	155
Волновое воздействие потока на обтекаемое препятствие <i>Владимиров И.Ю., Корчагин Н.Н., Савин А.С.</i>	159
База данных и программный комплекс для пространственно-временного анализа глобальных полей гидрометеорологических характеристик <i>Серых И.В.</i>	163
Подводная стационарная система сканирования толщи воды <i>Баранов В.И., Зинченко А.Б., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Очередник В.В.</i>	167

II. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

Технология исследований подводных объектов на озере Иссык-Куль с помощью телеуправляемых платформ <i>Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Белевитнев Я.И.</i>	170
Применение дистанционно управляемого катера с гидролокатором бокового обзора для обследования дна малых водоемов <i>Кавецер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбкидзе А.В., Денисов Е.Ю.</i>	175

Результаты экспедиционных работ по обследованию подводных потенциально опасных объектов в Черном море <i>Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А.</i>	179
Исследования подводных потенциально опасных объектов в Черном море <i>Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А., Карабашева Э.И.</i>	182
Керченский пролив – акватория Черного моря, подлежащая региональному экологическому контролю <i>Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А., Карабашева Э.И.</i>	186
Особенности построения информационного ресурса «Магеллановы горы (Тихий океан)» <i>Жулева Е.В., Рашидов В.А., Метальников А.А.</i>	190
Исследование морфологии рельефа Мурманского побережья в связи с процессами подводной разгрузки метана <i>Каевичер В.И., Никифоров С.Л., Римский-Корсаков Н.А., Смолянинов И.В., Сорохтин Н.О., Элбакидзе А.В.</i>	194
Использование высокоразрешающей сейсмоакустики для мониторинга трасс подводных газопроводов <i>Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Левченко О.В., Мелузов А.А.</i>	198
Использование высокоразрешающей сейсмоакустики для мониторинга процессов газовыделения со дна в морях Северного Ледовитого океана <i>Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Росляков А.Г.</i>	202
Прогнозирование гидрофизических и петрофизических параметров среды морских акваторий по данным дистанционных измерений <i>Либина Н.В., Черников А.Г.</i>	206
Новая мобильная установка для непрерывной вакуумной фильтрации взвешенных компонентов природной воды <i>Мошаров С.А., Гонтарев С.В.</i>	210
Основные результаты донных сейсмологических наблюдений на шельфе Черного моря в районе Анапы <i>Ковачев С.А.</i>	213
Перспективы развития отечественной гидроакустической техники для оснащения буксируемых, телеуправляемых и автономных подводных аппаратов разработки ООО «Экран» <i>Шавырин И.А., Трусилов В.Т.</i>	217

Возможные причины нефтегазовых высачиваний (грифонов) в северной части Каспийского моря <i>Ковачев С.А., Крылов А.А.</i>	218
Особенности конструирования широкополосных кабельных донных сейсмостанций для мониторинга нефтегазовых месторождений <i>Левченко Д.Г., Лобковский Л.И., Ильинский Д.А., Рогинский К.А.</i>	223
Вертикальная структура верхней части осадочного слоя в восточной области впадины Скан (море Скотия) <i>Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Сажнева А. Э., Галиндо-Зальдивар Х., Руано П., Мальдонадо А., Мартос-Мартин Я., Лобо Ф., Бохойо Ф.</i>	227
Полиарены в донных отложениях южного Байкала по результатам 2015–2016 гг. <i>Халиков И.С.</i>	232
Зависимость цунамиопасности землетрясений в Японском море от глубины гипоцентра <i>Золотухин Д.Е., Ивельская Т.Н.</i>	236
К вопросу создания цифровой модели рельефа дна российского сектора Арктики <i>Зеньков А.Ф., Костенич А.В., Ставров К.Г., Колобов Е.В., Гордеева Е.А.</i>	240
Использование метода сопряженных уравнений при идентификации источников загрязнения в Азовском море <i>Кочергин В.С., Кочергин С.В.</i>	244
Аппаратный инструмент исследования термального и радиационного фона в поверхностных слоях грунтов водоемов <i>Ермаков И.Д., Певневец Н.А., Вонсовский Н.Н.</i>	248
О структурах и объектах донного антропоцена в ГИАМЗ «Фанагория» <i>Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А.</i>	251
Топологические закономерности гладкого рельефа и их использование в некоторых моделях физических полей Мирового океана <i>Абрамов А.М., Жуков Ю.Н.</i>	254

Об использовании гидроакустического параметрического профилографа в режиме наклонного зондирования <i>Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А.</i>	256
Подводный археологический парк и его техническое обеспечение <i>Фазлуллин С.М., Тарасов А.С.</i>	260
Геофизические и гидрографические методы исследования литодинамических процессов в эстуариях и речных дельтах <i>Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Кортаев В.Н., Иванов В.В.</i>	264
О повышении площадной производительности гидроакустических параметрических профилографов <i>Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А.</i>	268
Измерение скорости энергетического и химического обмена гидробионтов в проточных системах <i>Чербаджи И.И., Звалинский В.И.</i>	272
Поведение наклонов морской нефтедобывающей платформы им. Ю. Корчагина на Северном Каспии <i>Ковачев С.А., Крылов А.А., Иванов В.Н., Тимашкевич Г.К.</i>	276
Экспериментально-теоретические исследования параметрических антенн при вертикальном зондировании донных осадков <i>Душенин Ю.В.</i>	280
Изучение особенностей гранулометрического и химического состава донных отложений бухт Севастопольского региона <i>Котельянец Е. А., Гуров К.И., Овсяный Е.И., Коновалов С.К.</i>	284
Прогноз структуры и скоростных свойств массива пород в транзитных зонах берег–море <i>Черников Г.А., Либина Н.В.</i>	288
Анализ влияния помех на работу многолучевого эхолота в арктических условиях <i>Бородин М.А.</i>	291
Регистрация сигналов низкочастотного гидроакустического излучателя волоконно-оптическими сейсмоприемниками <i>Каменев О.Т., Кульчин Ю.Н., Петров Ю.С., Колчинский В.А.</i>	295

Применение технологии наземного лазерного сканирования для съемки рельефа надводной части ледяного образования <i>Ликутов П.Е., Морозов А.В.</i>	298
Электромагнитные исследования криолитозоны <i>Пискунова Е.А., Яковлев Д.В., Пальшин Н.А.</i>	302
Оптимизация алгоритмов передачи данных по гидроакустическому каналу с применением OFDM технологии <i>Дябиров Р.М., Шахтарин Б.И., Чумаков Ю.В.</i>	306
Новый подход к определению хлорофилла в морях и озерах во время цветений микроводорослей <i>Карабашев Г.С.</i>	308
Гидрохимический режим вод и состояние фитопланктона в порту Новороссийск и за его пределами в 2010 году <i>Ясакова О.Н., Часовников В.К.</i>	310
Определение пеленга на морской объект с учетом калибровки волновода по шумовым сигналам <i>Гринюк А.В., Кравченко В.Н., Махнев Ю.В., Трофимов А.Т.</i>	314
Прибор для прямого измерения потоков через поверхность вода–дно <i>Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Розанов А.Г., Лежнин В.А.</i> ...	318
Модель эмиссии метана из литосферы в гидросферу с учетом фазовых переходов <i>Егоров А.В., Рожков А.Н., Римский-Корсаков Н.А.</i>	321
Опыт использования лендера ИО РАН в прибрежных водах Черного моря <i>Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Белевитнев Я.И.</i>	323
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	327

ДОКЛАДЫ

И. ГИДРОФИЗИКА

УДК 551 465

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И НОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Смирнов Г.В., Оленин А.Л.

*ИО РАН Москва, Нахимовский пр-кт, д. 36,
тел. (499) 124 59-58, E-mail-gvsmirnov@ocean.ru*

В статье приведены результаты анализа развития и построения информационно-измерительных систем океанографических параметров в 1960–70 и 1980–90-х годах и рассмотрены основные принципы построения современных информационно-измерительных систем океанографических параметров. Представлена созданная структурная схема многоканального гидролого-оптикохимического измерительного комплекса, позволяющая ассимилировать в его составе все имеющиеся и вновь разрабатываемые измерительные каналы океанографических параметров.

Введение

Экспериментальные исследования Мирового океана, выполненные во второй половине XX века, привели к открытию в эксперименте Полигон-70 синоптической изменчивости океана и открытию синоптических вихрей (сотрудниками ИО РАН). Дальнейшее исследование синоптических вихрей выполнялось совместно с коллективом МГИ АН УССР в международном эксперименте «ПОЛИМОДЕ», где были существенно развиты технологии комплексных наблюдений состояния океана с использованием искусственных спутников Земли (ИСЗ), свободно дрейфующих буйковых станций и методов ассимиляции разнородных наблюдений в моделях состояния морской среды. Открытие синоптических вихрей изменило представление о характере гидрофизических процессов, протекающих в глубинах океана. Большие орбитальные скорости и вертикальные размеры синоптических вихрей, сопоставимые с глубиной океана, влияют на механизм перераспределения тепловой и механической энергии в планетарных масштабах. Новые знания оказали

значительное воздействие на все разделы фундаментальной и прикладной океанологии и позволили группе ученых нашей страны, во главе с академиком Бреховских Л.М. сформулировать основные направления фундаментальных исследований Мирового океана: Создание термодинамической модели океана и Создание модели взаимодействия океана и атмосферы с учетом влияния материков [1]. Разработка этих моделей, по существующим в то время представлениям, должна позволить описать динамические процессы в океане во всем диапазоне их изменчивости от систем океанических течений до мелкомасштабных явлений, а также создать основу для развития теории климата и методов прогноза погоды.

Работы по дальнейшему развитию методов дистанционного зондирования океана с ИСЗ и контактных наблюдений со свободно дрейфующих буев для проведения мониторинга синоптических процессов в океане продолжены в МГИ АН УССР в рамках программы «Океан». Выработанные представления о синоптических процессах в океане явились основой развития технологии оперативного наблюдения текущего состояния океана как с ИСЗ, так и со свободно-дрейфующих буев и методов унификации разнородных наблюдений посредством ассимиляции в моделях состояния морской среды. Подготовленная коллективом авторов ИО РАН и МГИ НАНУ по плану МААН монография «Океанология. Средства и методы океанологических исследований» в концентрированном виде освещает наблюдательную и методическую основы методов оперативного мониторинга и прогноза состояния морской среды [2,3].

Одновременно с проведением эксперимента «ПОЛИГОН-70», международного эксперимента «ПОЛИМОДЕ» и программы «ОКЕАН» планировались и разворачивались работы по «Национальной программе СССР исследования взаимодействия океана с атмосферой в целях разработки долгосрочного прогноза погоды и теории климата», (сокращенное название программы – «Разрезы»).

Программа «Разрезы» была посвящена трем главным вопросам:

1. Изложение научной концепции, направленной на решение проблемы моделирования климата и долгосрочного прогноза погоды, включая обоснование роли процессов взаимодействия океана с атмосферой в формировании климатических и погодных условий;

2. Описанию средств, методов и систем наблюдений, которые позволяют обеспечить разрабатываемые модели климата и долгосрочного прогноза погоды необходимыми экспериментальными данными;

3. Организации сбора, обработки и распространения данных, получаемых в ходе проводимых научных экспериментов.

К сожалению, программа «Разрезы», хорошо подготовленная и укомплектованная исполнителями (привлечены, практически все министерства и ведомства нашей страны, имеющие отношение к поставленной проблеме) не смогла развернуться и состояться в полном объеме из-за начавшейся в стране перестройки. При этом необходимо отметить, что выполненная часть работы по этой программе является хорошей основой и опорой для всех последующих инициатив, которые имеют своей целью создание систем диагноза и прогноза состояния океанических бассейнов и всего Мирового океана, а значит долгосрочных прогнозов погоды и разработки модели климата на планете.

В данной статье, заканчивая введение, считаем необходимым акцентировать внимание читателя на то, что при анализе всех проектов, программ и экспериментов в морях и океанах актуальным остается вопрос об обеспечении всех проектов необходимыми экспериментальными данными, как это сформулировано во втором главном пункте программы «Разрезы».

Подводя итоги экспериментальных исследований Мирового океана во второй половине 20 века можно с удовлетворением отметить, что науки об океане обогатились новыми знаниями:

- развитием методов дистанционного зондирования океана с ИСЗ;
- контактными наблюдений со свободно дрейфующих буев, позволяющих в перспективе осуществлять непрерывный мониторинг синоптических процессов в океане;
- активными исследованиями по развитию математических методов численного моделирования, имеющих своей целью создание систем диагноза и прогноза состояния океанических бассейнов и всего Мирового океана.

Далее рассмотрим состояние средств, методов и систем наблюдений, которые позволяют обеспечить разрабатываемые модели климата и долгосрочного прогноза погоды необходимыми экспериментальными данными.

Краткий анализ направлений автоматизации экспериментальных исследований в нашей стране в различных областях знаний. Анализ существовавших в 1960–70 годах направлений автоматизации экспериментальных исследований показал, что наибольший интерес представляли системы сбора и обработки данных, построенные аналогично информационно-измерительным системам стандарта САМАС, созданного под руководством академика Нестерихина Юрия Ефремовича. Они находили широкое применение в различных областях автоматизации экспериментальных исследований в связи с тем, что имели гибкую легко ме-

нящуюся структуру, хорошо разработанное программное обеспечение и оперативно могли быть перестроены на новую программу экспериментальных исследований. Эти системы включают в себя стандартизацию трех типов: механический стандарт – блочный каркас со вставными блоками; логический стандарт, предусматривающий унификацию разводки линий связи внутри блоков; электрический стандарт, унифицирующий источники питания всей системы. Наиболее значительным достоинством стандарта САМАС являлось на тот момент то, что он имел хорошее обеспечение организации программно-управляемого обмена между блоками стандарта, позволяющее на его основе легко создавать информационно-измерительные системы. Широкое применение информационно-измерительные системы на основе стандарта САМАС нашли в биологии и медицине.

Развитие океанологического приборостроения в 1970–80-х годах рассмотрим на примере работ Специального Конструкторско–Технологического Бюро Морского Гидрофизического Института АН УССР (СКТБ МГИ АН УССР).

Особенности конструкции океанографических измерительных комплексов не позволили при разработке их структурной схемы применить стандарт САМАС в полном объеме. Необходимость проведения измерений параметров среды *insitu* на значительном расстоянии от устройств управления и регистрации информации телеметрической системой формулируют особые технические требования для океанологических измерительных комплексов, но при разработке базовой структурной схемы океанологического многоканального измерительного комплекса были использованы все три типа стандартизации системы КАМАК [2].

Уровень автоматизации экспериментальных исследований и направления её развития в других отраслях знаний показал, что наиболее эффективными методами проведения экспериментов являются исследования с использованием интегрированных магистрально-модульных мультипроцессорных макро- и микросистем. Новое поколение систем отличает высокий уровень интеграции компонентов, широкий выбор унифицированных средств организации взаимодействия подсистем различного назначения, насыщенность функционально и территориально распределенными микропроцессорными системами, гибкость программной реконфигурации структуры аппаратных и программных средств. Принципы построения базовой структурной схемы интегрированной мультипроцессорной системы, позволяющей в значительной степени решить задачу сбора и обработки информации при экспериментальных исследованиях в океане, включали в себя: развитие структуры

иерархического магистрално модульного построения аппаратных и программных средств, рациональное использование международных стандартов на системные средства организации взаимодействия подсистем, упрощение программной реконфигурации. При этом в интегрированных мультипроцессорных системах важное место занимали средства организации взаимодействия процессов (измерений, обработки данных, передачи сообщений), протекающих в подсистемах всех уровней иерархии. В группе таких средств выделяются машинные, системные, приборные, надплатные, вспомогательные магистрали. Стандартизация машинных магистралей UNIBUS, Q-BUS, MULTIBUS для построения одно- и многопроцессорных вычислительных систем определила их широкое распространение в средствах автоматизации научных исследований.

Особое место в создании модульных информационно-измерительных систем океанографических параметров занимало метрологическое обеспечение всего цикла их разработки и аттестации. Работы по сертификации, всех измерительных каналов разрабатывавшихся в СКТБ МГИ, выполнялись совместно с институтами Госстандарта СССР.

Для развития комплексного подхода к океанологическому приборостроению в СКТБ МГИ АН УССР были проведены следующие работы:

На основе анализа, многочисленных материалов экспериментальных исследований изменчивости параметров гидрофизических полей в океане, полученных различными авторами, сделана выборка наиболее информативных параметров среды в различных диапазонах пространственно-временных масштабов [1, 2, 7];

Определены временные и пространственные масштабы, диапазоны изменения каждого параметра и их среднеквадратичной изменчивости для каждого диапазона масштабов;

Определены наиболее часто применяемые методы экспериментальных исследований для каждого диапазона масштабов;

Для удобства анализа и изложения материалов использована классификация нестационарных процессов, данная А. С. Мониним [8].

Систематизированные материалы приведены в [2] табл. 3.1.1. стр. 545–546.

Материалы таблицы позволяют говорить о возможности использования одних и тех же измерительных приборов для решения различных экспериментальных задач при исследовании океана. Для использования однотипных, с разными метрологическими характеристиками измерительных комплексов при исследовании в разных диапазонах масштабов, предусматривается изменение их метрологических характеристик за счет замены отдельных узлов.

Таким образом, стала очевидной необходимость унификации:

- первичных измерительных преобразователей всех измеряемых параметров по выходным параметрам и посадочным местам;
- измерительных преобразователей по всем измеряемым параметрам во всем диапазоне их изменчивости;
- бортовых управляющих устройств обеспечивающих работу комплекса, первичную обработку и документирование получаемой информации;
- предусмотреть модульность построения механических конструкций бортового и погружаемого устройств;
- измерительные преобразователи должны обеспечивать преобразование сигналов с первичных измерительных преобразователей в единую унифицированную форму, при этом, учитывая различные требования к преобразователям, все они должны быть унифицированы по конструктивному исполнению, командам управления, питанию, входным и выходным сигналам;
- набор аналого-цифровых преобразователей, позволяющих обеспечить преобразование измеряемых сигналов по любому параметру во всем диапазоне их изменчивости, также должен составлять унифицированный параметрический ряд.

Бортовое управляющее устройство должно было обеспечивать управление работой комплекса, проводить первичную обработку и документирование получаемой информации.

При этом в базовой структурной схеме бортового управляющего устройства была предусмотрена возможность изменения режима управления измерительным комплексом, вида первичной обработки и документирования получаемой информации, без выполнения работ по его переделке или перенастройке, т.е. изменением алгоритма работы программными методами.

Механические конструкции погружаемого и бортового устройств также должны были обеспечивать модульность построения и унификацию основных узлов и типоразмеров.

Сформулированные требования к первичным измерительным преобразователям, бортовому управляющему устройству и механическим конструкциям позволили определить узлы и блоки, которые подлежат унификации и при разработке базовой структурной схемы они являются её структурными элементами.

Второй, по-видимому, основной фактор, определяющий вид базовой структурной схемы, был сформулирован на основе анализа состава из-

меряемых параметров при экспериментальных исследованиях в Мировом океане в разных диапазонах масштабов.

При разработке зондирующих, буксируемых, автономных и специальных измерительных океанологических приборов и комплексов в базовой структурной схеме было предусмотрено: измерение параметров характеризующих изменчивость верхнего слоя океана; приводного слоя атмосферы; ввод информации навигационных и судовых метеосистем.

Учитывая разнородность получаемой информационно-измерительным комплексом информации, в базовой структурной схеме были предусмотрены узлы предварительной обработки информации и представление её в цифровом виде в абсолютных физических единицах.

С учетом изложенных принципов построения интегрированных мультипроцессорных систем была разработана базовая структурная схема измерительного комплекса и внедрена в практику проектирования и производства измерительных океанографических приборов. Созданная в СКТБ МГИ структурная схема имеет элементы новизны и защищена авторскими свидетельствами на изобретения [4, 5].

В завершение анализа уровня океанографического приборостроения к концу 80-х годов отметим, что были созданы, сертифицированы и внедрены в практику океанологических исследований зондирующие, буксируемые, автономные измерительные комплексы, обеспечивающие экспериментальные исследования в океане в диапазоне пространственно-временных масштабов в пределах: от секунд до десятков суток по времени и от сантиметров до сотен и тысяч километров по расстоянию. Считаю необходимым отметить, что в ходе международного эксперимента «ПОЛИМОДЕ» проводились интеркалибрации измерительных приборов и комплексов. В Советско-американской экспедиции в марте 1986 г. было проведено параллельное зондирование отечественным гидрофизическим комплексом и системой MarkIII. Оба зондирующих комплекса снабжены автоматическими кассетами батометров для отбора контрольных проб с заданных глубин в процессе зондирования. Профили температуры, электрической проводимости и кислорода достаточно хорошо совпадают между собой и с контрольными пробами, концентрации кислорода в которых определялась стандартным методом Винклера [6,7].

Высокий уровень океанографического приборостроения в нашей стране к концу XX века позволяет нам, даже после развала СССР, рассматривать возможность дальнейшего развития этого направления. Структурная схема информационно-измерительного комплекса, может быть принята при разработке новых океанологических измерительных

комплексов за прототип, а созданные измерительные каналы могут быть использованы при их комплектации.

Развитие информационно-измерительных систем океанографических параметров

Внедрение в практику экспериментальных исследований океана спутниковых измерительных систем, свободно-дрейфующих поверхностных буев, свободно-дрейфующих буев для вертикального зондирования профилей гидрофизических параметров и измерения течений в толще вод создали предпосылку к пониманию возможности осуществления мониторинга окраинных морей и всего Мирового океана.

Актуальнее стал вопрос о необходимости разработки принципиально новых технологий и технических средств экспериментальных исследований на подспутниковых полигонах. Созданию новых измерительных каналов и приборов позволяющих: производить прямые измерения *insitu* горизонтальных и вертикальных скоростей течений в водной толще; осуществлять в морской воде определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества; регистрировать наличие и концентрацию растворенных в морской воде веществ.

Разработка новых измерительных каналов, их лабораторные и натурные испытания, создание методик измерений в комплексе с другими гидрофизическими измерительными каналами, исследование влияния изменчивости граничных условий на показания новых измерительных каналов, требуют серьезного технологического обеспечения всего комплекса работ.

При этом необходимо отметить, что новые измерительные каналы отличаются высокой частотой опроса и большими массивами передаваемой информации. Лабораторные и натурные испытания этих каналов могут быть проведены только при использовании волоконно-оптической линии связи между погружаемым и бортовым устройствами измерительного комплекса.

Для решения сформулированных задач целесообразно создать технологическую платформу позволяющую:

- обеспечивать интеграцию, в составе базового информационно-измерительного комплекса технологической платформы, любых существующих измерительных каналов океанологических параметров;
- ассимилировать в базовый комплекс технологической платформы новые измерительные каналы: идентификации и определения концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества в морской воде;
- регистрацию молекул растворенных в морской воде веществ;

– обеспечивать без ограничений электропитанием измерительный комплекс.

Лабораторией методологии и технических средств океанологических исследований Института океанологии РАН создана Специальная технологическая платформа для разработки, испытаний и аттестации новых измерительных каналов параметров морской среды.

Технологическая платформа включает в себя:

1. Функциональную схему многоканального измерительного гидролого-оптикохимического комплекса;
2. Волоконно-оптическую линию связи, состоящую: из морской электрической лебёдки, оснащенной волоконно-оптическим кабель-тросом, многовходовыми оптическими модемами погружаемого и бортового устройств (мультиплексорами), вращающимся волоконно-оптическим переходом;
3. Погружаемое гидролого-оптикохимическое измерительное устройство;
4. Бортовое устройство гидролого-оптикохимического измерительного комплекса.

Основным элементом специальной технологической платформы для разработки, испытаний и аттестации новых измерительных каналов параметров морской среды является функциональная схема многоканального измерительного гидролого-оптикохимического комплекса (МГОХК), приведенная на рис. 1.

Функциональная схема многоканального измерительного гидролого-оптикохимического комплекса технологической платформы обеспечивает интеграцию в своем составе любых из существующих измерительных океанологических каналов и технически перспективна для существенного расширения функции интеграции в своем составе вновь создаваемых измерительных каналов.

Функциональная схема комплекса может использоваться в двух режимах.

Первый вариант. Левая часть функциональной схемы (1–6 измерительные каналы и 7 – резервный канал) построена аналогично схемам зондов гидрологических и может обеспечивает их работу передавая информацию по кабель-тросу не используя волоконно-оптическую линию связи.

Второй вариант. Информация, получаемая всеми каналами, передается через нормализующие для каждого канала контроллеры и далее через центральный контроллер, многовходовой оптический модем (мультиплексор), волоконно-оптическую линию связи, вращающийся

оптический переход информация передается в бортовой многоходовой оптический модем (демультиплексор) на рабочее место оператора многоканального измерительного комплекса.

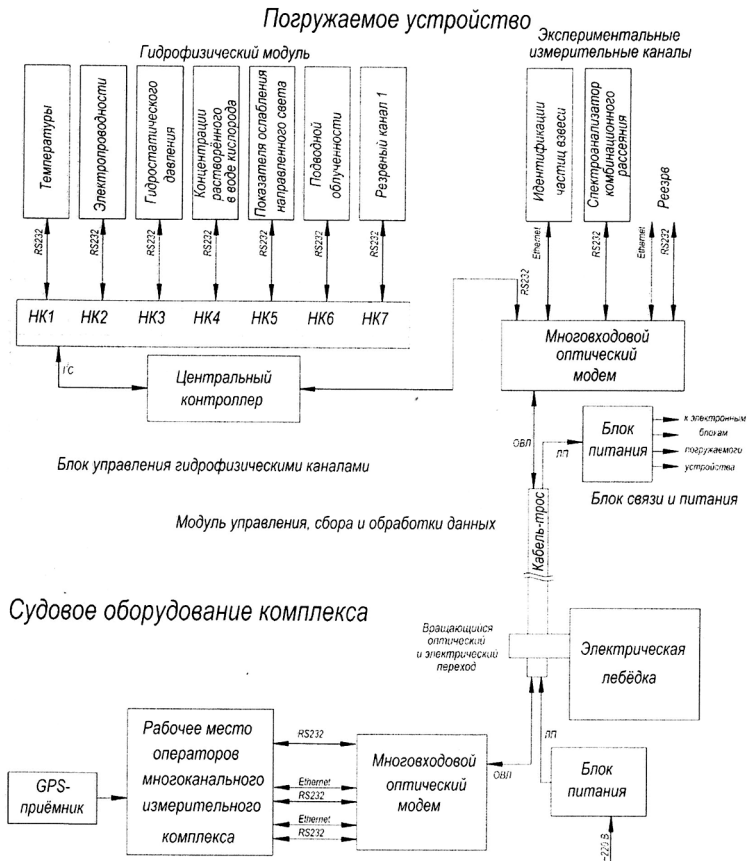


Рис. 1. Функциональная схема многоканального измерительного гидролого-оптикохимического комплекса (МГОХК)

Примечание. Функциональная схема позволяет одновременно использовать оба режима сбора и передачи информации от погружаемого в бортовое устройство технологической платформы.

После создания макета функциональной схемы многоканального измерительного гидролого-оптико-химического комплекса технологической платформы и его лабораторных испытаний были сформулированы требования к основным узлам технологической платформы с учетом оснащения её погружаемого и бортового устройств волоконно-оптической линией связи. Детальная проработка показала, что с целью уменьшения диаметра используемого волоконно-оптического кабель-троса и уменьшения количества каналов в оптико-волоконном вращающемся переходе целесообразно использовать кабель-трос с одиночной волоконно-оптической линией (вторая линия – резервная), а для передачи сигналов использовать многовходовые оптические модемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бреховских Л.М., Кошляков М.Н., Федоров К.Н.** Полигонный гидрофизический эксперимент в тропической зоне Атлантики. – Докл. АН СССР, 1971. 198. № 6, с. 1434–1437.
2. **Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.К., Ястребов В.С., Мотыжев С.В.** Океанология. Средства и методы океанологических исследований. – М.: Наука, 2005. 795 с.
3. **Коротаев Г.К., Еремеев В.Н.** Введение в оперативную океанографию Черного моря. Севастополь – НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2006. – 382 с.
4. **Смирнов Г.В., Кушнир В.М., Шадрин А.Б., Шамрай Б.В.** А.С. 1070484 СССР, МКИЗ G01P5/11. Зондирующий комплекс профиля скоростей течения № 3502837/18-10; Заявл. 22.10.82; Оpubл.30.02. 83; Бюл. №4.
5. **Смирнов Г.В., Кушнир В. М., Шадрин А. Б. и др.** А.С. 1163272 СССР, МКИЗ G01P5/00. Комплекс автономных измерителей течения № 3689340/214/10; Заявл. 05. 11.83; Оpubл.23.06.85; Бюл. № 23.
6. **Нелепо Б.А., Смирнов Г.В., Шадрин А. Б. и др.** Интегрированные системы для гидрофизических исследований. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. 240 с.
7. **Смирнов Г.В., Лавров С.А., Рабинович М.Е., Светличный А.С.** Первичные измерительные преобразователи океанографических параметров. – Владивосток: издательство Дальневосточного университета, 1990. 295 с.
8. **Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г.** Изменчивость Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. 260 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФИЛОГРАФА АКВАЛОГ В
ИССЛЕДОВАНИЯХ СИНОПТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД
СКЛОНОМ ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРЬЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ
ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ**

**Каплуnenко Д.Д., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Трусенкова О.О.,
Ладыченко С.Ю., Лазарюк А.Ю., Швоев Д.А.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН,
ул. Балтийская, 43, г. Владивосток, 690041, тел. (423)231-14-00,
dimkap@poi.dvo.ru*

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
osasha@ocean.ru*

This report is focused on the example demonstrating the possibility of using scanning underwater profiler Aqualog, when installed in the northwestern part of the Japan Sea over the continental slope off the coast of Primorye.

В докладе представлены результаты анализа данных, полученных при спутниковом мониторинге побережья Приморья, с использованием данных заякоренного автономного вертикального профилографа Аквалог, установленного над континентальным склоном у побережья Приморья (Приморского края). Данные профилографа верифицировались судовыми измерениями вдоль разреза, выполненного поперек склона 30 мая 2015 г. и пересекавшего место его установки.

На рис. 1 показано месторасположение аппарата Аквалог и разреза, выполненного НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в рейсе №69. Поля температуры поверхности Японского моря (ТПМ) были получены из Центра регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН во Владивостоке (<http://satellite.dvo.ru/>). Они основаны на данных радиометра высокого разрешения (AVHRR) в инфракрасном диапазоне с искусственного спутника Земли (ИСЗ) NOAA. Проанализированы поля за 30 мая – 8 июня 2015 г., когда небо было свободно от облачности; на рис. 1 показан спутниковый снимок 30 мая, когда был выполнен океанологический разрез (см. ниже).

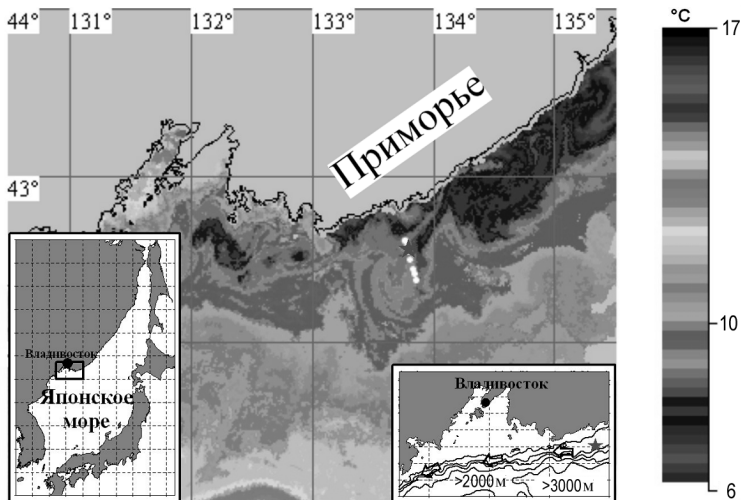


Рис. 1. Температура поверхности северо-западной части Японского моря в районе побережья Приморья по данным радиометра AVHRR ИСЗ NOAA за 30 мая 2015 г. Белыми точками показаны станции судового разреза, красной звездочкой – место установки профилографа Аквалог. На врезке слева – Японское море, прямоугольником показан район исследования, на врезке справа – рельеф дна в районе исследования (показаны изобаты 100, 500, 1000, 2000 и 3000 м); стрелками обозначено Приморское течение

Согласно данным наблюдения за поверхностью северо-западной части Японского моря в районе побережья Приморья (зоне Приморского течения) был зарегистрирован антициклонический вихрь, сформировавшийся после 23 мая 2015 г. Этот вихрь уверенно наблюдался в спутниковых полях ТПМ по 8 июня 2015 г. (рис. 1), но определить точную дату его формирования не представляется возможным ввиду наличия облачного покрова 23-29 мая. Размеры вихря составляли 60-80 км, он перемещался с Приморским течением в юго-западном направлении вдоль континентального склона от 42.45° с.ш., 133.75° в.д. до 42.28° с.ш., 133.32° в.д. В центре вихря находились холодные воды Приморского течения, поступившие с северо-востока, которые переносились в сторону открытого моря по восточной периферии вихря, в то время как теплая вода переносилась из открытой части моря в сторону берега по западной периферии вихря (рис. 1).

На рис. 2а показаны диаграммы температуры, солёности и содержания растворенного кислорода в осях «время – глубина» по данным профилографа Аквалог во время прохождения вихря через место его установки.

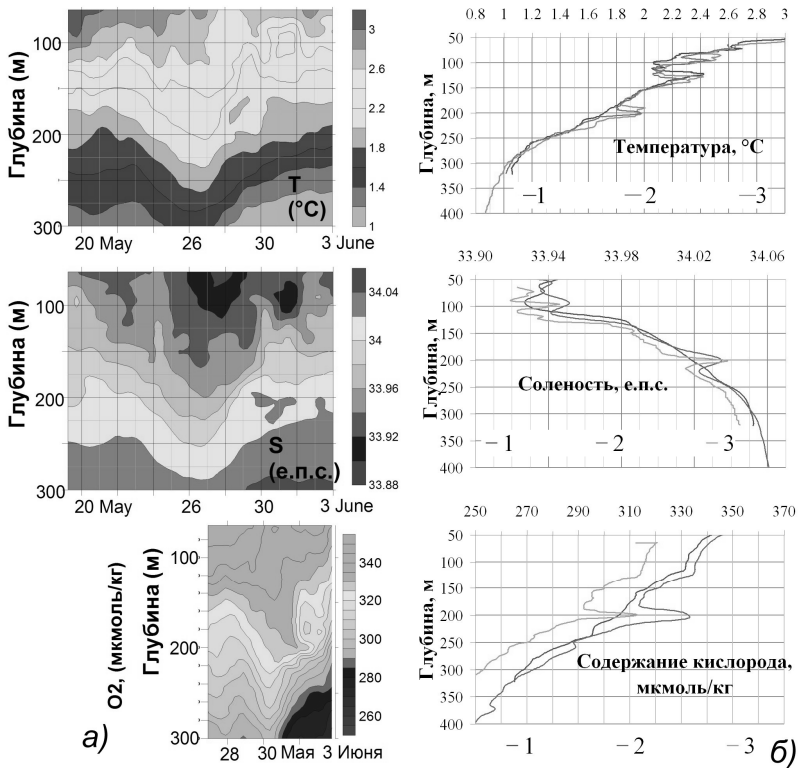


Рис. 2. Диаграммы «время (дни) – глубина (м)» по данным профилографа Аквалог: температура (° C), солёность (е.п.с.) и содержание растворенного кислорода (мкмоль/кг) с 20 мая (для содержания кислорода – с 28 мая) по 3 июня; данные сглажены 9-точечным фильтром (а). Вертикальные профили (по оси ординат – глубина, м) температуры (° C), солёности (е.п.с.) и содержания растворенного кислорода (мкмоль/кг) по данным профилографа и на двух ближайших судовых станциях: 1 – для станции между местом установки профилографа и берегом, 2 – для станции мористее места установки, 3 – для профилографа (б)

Данные профилографа Аквалог были верифицированы по судовым измерениям вдоль выполненного 30 мая 2015 г. разреза, пересекавшего место установки станции. Вертикальные профили температуры и солености по судовым измерениям и данным Аквалага хорошо соответствовали друг другу, но обнаружены систематические различия концентрации растворенного кислорода в 20–25 мкмоль/кг, что говорит о необходимости калибровки датчиков. Тем не менее, качественное сходство вертикальных профилей кислорода позволяет использовать эти данные для интерпретации наблюдаемых изменений структуры вод.

В данном случае, данные о структуре водных масс, полученных профилографом, были использованы для изучения вертикальной структуры вихря. Несмотря на то, что до 30 мая спутниковые данные были недоступны вследствие наличия облачности, по данным профилографа установлено, что вихрь прошел над ним 26–27 мая, после чего профилограф зарегистрировал холодные распресненные воды подповерхностного слоя, связанные с Приморским течением, которые находились на восточной периферии вихря. Воды вихря имели вертикальную структуру аналогичную Приморскому течению. Однако на глубинах 50–300 м в ядре вихря стратификация ослаблялась за счет заглужения нижней границы промежуточных вод пониженной солености (250–300 м) и подъема слоя формирующегося сезонного термо- и галоклина (75–100 м) с образованием линзообразной структуры.

Анализ вертикальных профилей температуры, солености и содержания растворенного кислорода указывает на наличие интрузий в промежуточном слое с горизонтальными размерами в несколько километров и толщиной по вертикали в несколько десятков метров, формирующимися на границе ядра вихря. По-видимому, интрузионное переслоение является основным механизмом водообмена на границе вихря и формирования его слабостратифицированного ядра.

Авторы выражают свою признательность капитану и команде НИС «Академик М.А. Лаврентьев» за их помощь при выполнении работ в рейсе № 69. Работа была поддержана грантом РФФИ № 16-05-00899 и грантом 15-1-1-047 программы приоритетных исследований ДВО РАН «Дальний Восток».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Островский А.Г. Поверхностная циркуляция Японского моря (спутниковая информация и данные дрейфующих буйев) // Исследование Земли из космоса. 1998. № 1. С. 66–83.

2. **Жадан П.М., Ващенко М.А., Лобанов В.Б., Котова С.А.** Исследование влияния факторов среды на нерест морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С.170–179.

3. **Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Захарков С.П., Тищенко П.Я.** Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000. //Океанология. 2006. Т. 46. №1. С. 27–37.

4. **Ладыченко С. Ю.** Изменение термической структуры поверхностных вод у побережья Приморья в осенний период 2000 г. // Океанологические исследования: сб. статей по мат. конф. молодых ученых ТОИ ДВО РАН (27–30 ноября 2001 г.). Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 75–83.

5. **Ладыченко С. Ю., Лобанов В. Б.** Синоптические вихри в районе залива Петра Великого по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса, 2013. № 4. С. 3-15.

6. **Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н., Тищенко П.Я., Тэлли Л.Д.** Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря. Т.1. Океанологические исследования. – М.: Наука, 2007. С. 450–473.

7. **Никитин А.А., Юрасов Г.И.** Синоптические вихри Японского моря по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2008. № 5. С. 2–57.

8. **Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьёв В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т53. № 2. С. 259–268.

9. **Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б.** Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 2. С.100–104.

10. **Юрасов Г.И., Ванин Н.С., Никитин А.А.** Характеристики фронтов в Японском море по данным судовых и спутниковых измерений // Метеорология и гидрология. 2009. № 4. С.93–105.

11. **Юрасов Г.И., Яричин В.Г.** Течения Японского моря. – Владивосток: ДВО РАН, 1991. 176 с.

12. **Danchenkov M.A., Lobanov V.B., Riser S.C., et al.** A history of physical oceanographic research in the Japan/East Sea // Oceanogr. 2006. V. 19. N 3. P. 18–31.

13. **Tsujino H., Nakano H., Motoi T.** Mechanism of currents through the straits of the Japan Sea: mean state and seasonal variation // J. Oceanogr. 2008. V. 64. N 1. P. 141–161.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ В ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЯХ

Пака В. Т.

*Атлантическое отделение Института океанологии
им. П.П. Шишова РАН, Пр. Мира, 1,
236022, г. Калининград, 8(4012) 452813, vpaка@mail.ru*

Paper presents wave, sea level, and current velocity measuring instruments, including drifters following the bottom, which could be located in proper position in good time before the expected storm and released by a preprogrammed timer.

Для эксплуатации природных ресурсов прибрежных зон и морехозяйственных сооружений, испытывающих негативные воздействия в периоды сильных штормов, необходимо найти возможность проводить инструментальные измерения в штормовом море в условиях, исключающих выход в море доступных плавсредств. Предлагается решать проблему с помощью устройств, которые можно расположить в море заблаговременно, в соответствии с прогнозируемым началом шторма.

Экспериментальные исследования проводились с использованием волнографов с датчиками гидростатического давления и регистраторов придонных течений с датчиками, измеряющими наклон подвеса маятника, возникающий в течении вследствие гидродинамического давления. Приборы включаются в работу при постановке на дно до шторма и выключаются при выборке после шторма; их автономность должна быть достаточно большой – не менее 2 недель. Схема постановки и примеры полученных данных представлены на рис. 1–3. Опыт эксплуатации свидетельствуют о достаточной чувствительности приборов и достаточном запасе прочности предложенных конструктивных решений. Однако инклинометры хорошо работают только в придонном слое, а для полноты информации желательно измерять течения на всех глубинах. Такую возможность обеспечивает дрейфтерный метод трассирования течений, но он освоен только для поверхностных течений и сопряжен с выходом в море. Оба ограничения – и по глубине, и по погоде – нам удалось преодолеть.

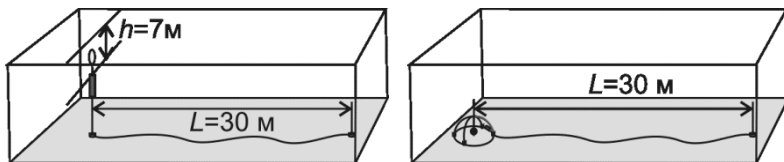


Рис. 1. Схема постановки волнографа (слева) и инклинометра с использованием затравливаемых грунтопроб

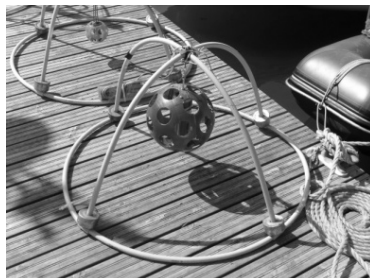


Рис. 2. Вариант установки на дно инклинометра с отрицательной плавучестью. Отклоняется в потоке перфорированная сфера, внутри которой расположен автономный измеритель наклона. Перфорация предотвращает автоколебания. Возможен вариант перевернутого маятника с положительной плавучестью сферы

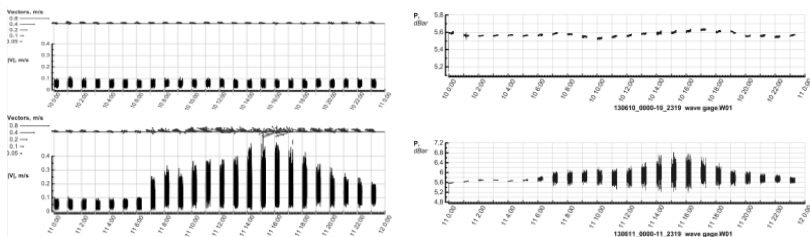


Рис. 3. Пример синхронной записи данных волнографа и инклинометра 10 и 11.06.2013, по 10 мин в начале каждого часа. На вторые сутки – усиление ветра и волнения

В 2016 г. дрейферы были доработаны в соответствии с требованием трассирования придонных течений. За основу была принята прежняя конструкция с парусом в виде перфорированного цилиндра. Поверхностный дрейфтер, имеющий небольшую отрицательную плавучесть,

удерживается на заданной глубине поплавком, на котором также крепится и GPS-трекер. Заглубление задается длиной лески, и оно не должно превышать глубину в мелководной части района. В придонном варианте дрейфтер оснащается дополнительным поплавком и гайдропом. Поплавок удерживает дрейфтер над дном, а гайдроп не позволяет ему оторваться от дна. Сопротивление движению при легком касании незначительно. Поверхностный поплавок с трекером сохранены в прежнем виде. Леска, соединяющая придонную и поверхностную части прибора, имеет длину, превышающую глубину моря в рабочей зоне. Испытания в районе мыса Таран с перепадами глубин 40 ± 10 м показали, что придонный дрейфтер устойчиво перемещается со скоростью менее 4 см/с. Средние за 10ч скорости составляли 5,64 см/с у дна и 10,53 см/с на поверхности. Характер движения соответствовал влиянию инерционной волны. При штормовых ветрах резонно ожидать более сильные течения и большую достоверность данных. В таблице представлен фрагмент оперативных данных о перемещении дрейфтеров в течение 3-х часов. Как видим, нулевых скоростей (зацепов за грунт) не наблюдалось.

Придонный дрейфтер			Поверхностный дрейфтер		
Длина пути, м	Скорость, см/с	Направление, °	Длина пути, м	Скорость, см/с	Направление, °
63	5,25	89			
44	3,66	110	67	5,58	301
42	3,50	126	117	9,75	294
43	3,58	139	117	9,75	310
52	4,33	160	115	9,58	323
40	3,33	173	104	8,67	333
48	4,00	181	108	9,00	346
50	4,16	204	114	9,50	357
56	4,67	203	108	9,00	5

Задача запуска дрейфтеров в штормовое море решается следующим образом. Используется программно-управляемый размыкатель троса [1]. Платформой для запуска дрейфтеров является донная станция с инклинометром, подлежащая подъему по завершении эксперимента. Поэтому размыкатель размещается на платформе, а дрейфтер в компактно сложенном виде удерживается в стартовой позиции спусковым механизмом размыкателя. GSM-трекер может быть включен сразу, если ресурс батарейного питания достаточен, или снабжен автоматическим включателем, срабатывающим в момент всплытия поплавка на поверхность. Размыкание происходит в заданный момент времени, когда, согласно

прогнозу, уже должен быть шторм. Дрифтер отсоединяется от платформы, парус с гайдропом остаются на дне, а поверхностный поплавок с трекером, растягивая леску, всплывает на поверхность. Оператор на берегу получает SMS и убеждается в начале регистрации трека. В принципе, этим можно ограничиться, т.е. не пытаться вылавливать дрифтер по завершении измерений, экономя время и деньги. Но систему можно доработать, чтобы упростить и удешевить поиск и выборку. Для этого на дрифтер устанавливается еще один размыкатель, уравновешенный поплавком, срабатывающий с требуемой для выполнения измерений задержкой по отношению к первому, размещенному на стартовой платформе. В момент срабатывания поплавка всплывает, а дрифтер ложится на грунт. Трекер продолжает работать, сообщая оператору, где находится лишенный подвижности дрифтер, чтобы при первой возможности вернуть его для дальнейшего использования.

В дальнейшем донная станция для трассирования течений будет строиться по кассетно-модульному принципу, с использованием многоканального спускового устройства, разработанного нами для многоканального дистанционно-управляемого пробоотборника [2]. Принцип его действия похож на принцип управления закрытием батометров в комплексе «Розетта». В этом случае, в штормовое море дрифтеры будут выпускаться по одному через любые заданные интервалы времени несколько дрифтеров, что сделает измерения более информативными. Можно будет трассировать или группу дрифтеров, или одиночные дрифтеры, выпускаемые один за другим с большими задержками.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Патент РФ на полезную модель № 150756 "Размыкатель для возвращаемых подводных аппаратов" по заявке 2013137905 с приоритетом от 23.08.2013, авторы В. Пака, В. Баранов, А. Кондрашов, М. Ландер, А. Подуфалов, патентообладатель ИОРАН.

2. **Пака В.П., Чечко В.А.** Обследование донных отложений вблизи подводных источников загрязнений // Океанология, в печати.

УДК 551.465

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**Станичный С.В., Кубряков А.А., Соловьёв Д.М., Станичная Р.Р.,
Алескерова А.А., Кудрявцев В.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Морской
гидрофизический институт РАН",
Ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь,
8(798)8526739, sstanichny@mail.ru*

High resolution satellite Landsat (OLI, TIRS) and Sentinel 2 (MSI) thermal and optical data were used for investigation of the surface waves, whitecaps coverage and submesoscale processes.

Данные оптических сканеров OLI Landsat и MSI Sentinel 2 позволяют получить с высоким пространственным разрешением $\sim 1\text{--}2$ км карты длин и направлений поверхностных волн. Рассмотрены случаи трансформации характеристик волн на фронтах, течениях, вихревых структурах, неоднородностях батиметрии. Обсуждаются возможности решения обратных задач восстановления динамических характеристик в поверхностном слое по их проявлениям в полях волнения. Высокое пространственное разрешение сканера OLI даёт возможность выделять события обрушений волн по пенистым образованиям. Проанализированы ситуации, модуляции характеристик обрушений внутренними волнами, на фронтальных зонах, сдвигах скоростей течений и связанные с пространственными изменениями скорости ветра. Рассмотрены спектральные особенности проявления обрушений и предложена многоспектральная методика для расчёта доли поверхности покрытой пеной. При сопоставлении с данными о скорости ветра скаттерометров ASCAT получена близкая к квадратичной зависимость доли поверхности покрытой пеной от скорости ветра.

Рассмотрены пространственные особенности распределения температуры в прибрежных апвеллингах. На основе последовательных изображений оценены скорости перемещения для субмезомасштабных структур. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ грант 15-17-20020.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДРИФТЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН (ГЕЛЕНДЖИК) В 2016 ГОДУ

Сильвестрова К.П.¹, Мысленков С.А.^{1,2}, Зацепин А.Г.¹

*¹ Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
ksenia.ocean@yandex.ru, zatsepin@ocean.ru*

*² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ул.
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, 8(495)939-22-15,
stasocean@gmail.com*

Paper presents results of drifter experiments, which were held in the coastal zone of the Black sea in summer and autumn seasons of 2016. Underwater sails were fixed at 0.5 m and 3 m. Two summer experiments were held for comparison with ADCP-data. Drifters were launched above the moored autonomous ADCP. Other experiments aimed to describe the coastal circulation (including meso-scale eddies) and to compare drifters' trajectories with radar data.

В 2016 году на гидрофизическом полигоне ИО РАН (Геленджик) проведено 4 дрейфтерных эксперимента. Большая часть дрейфтеров имеет подводный парус высотой 1 м, который можно расположить на нужном горизонте в зависимости от решаемых задач. В 2016 году были впервые использованы дрейфтеры с парусом высотой 0.5 м, расположенном в самом верхнем слое. Такие паруса позволяют измерять скорость течения в тонком поверхностном слое, что является особенно важным для корректного сопоставления траекторий дрейфтеров с данными радиолокации. Методика проведения экспериментов и устройство дрейфтеров приведено в работах [1, 2].

Первые 2 эксперимента были проведены 25 и 27 июня. Дрейфтеры запускались над заякоренным акустическим доплеровским профилографом (глубина 22 м, на выходе из Голубой бухты). В каждом эксперименте выполнено по 4 запуска дрейфтеров (паруса расположены на 0–0.5 м, 4–5 м, 7–8 м, 14–15 м). После каждого запуска длительностью 30

минут дрейфтеры буксировались на шлюпке с таким расчетом, чтобы они максимально близко прошли над профилографом.

По результатам анализа данных дрейфтеров и ADCP установлено, что скорость течений убывала с глубиной от 30 см/с на поверхности до 10 см/с на глубине 15 м, однако разворот течений в большинстве запусков наблюдался влево. В одном из экспериментов, наблюдалась смена ветра, и было зафиксировано постепенное вовлечение сначала верхних слоев, а затем и нижних в направлении ветрового воздействия. Общее направление течения во всех экспериментах северо-западное и по данным дрейфтеров и по данным ADCP. Однако было обнаружено расхождение данных по ADCP и по данным дрейфтеров по направлению в среднем на 20° и по скорости течения на 5–10 см/с, причем ошибки максимальны на придонных горизонтах. Более подробно анализ результатов представлен в [3].

28–30 июня был проведен большой эксперимент по изучению циркуляции в прибрежной зоне – запущено 12 дрейфтеров (рис. 1).

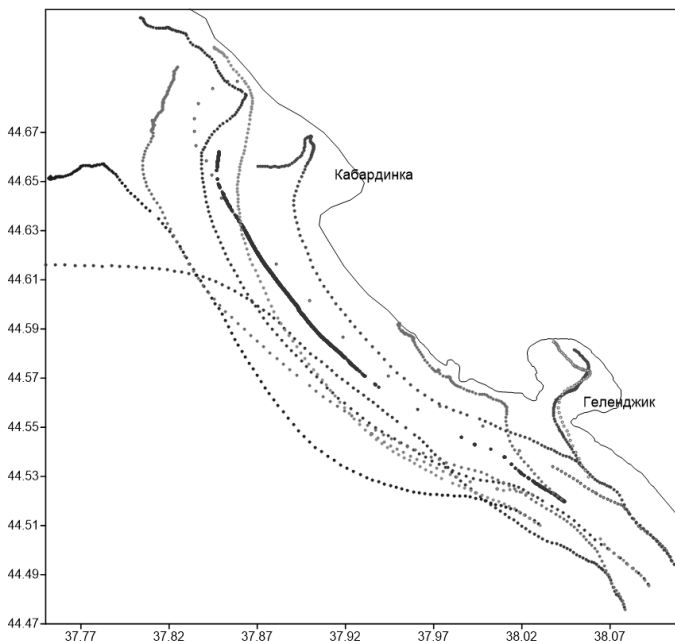


Рис. 1. Траектории движения дрейфтеров 28–30 июня 2016

Дрифтеры были запущены парами в шести точках (с парусами, расположенными на 0–0.5 м и 3–4 м) восточнее Геленджикской бухты и далее они двигались в северо-западном направлении со средней скоростью 20–30 см/с. Использование парусов для верхнего слоя позволило выявить существенные различия в скорости и направлении течения на горизонте 3–4 м и на 0–0.5 м. Два дрифтера зашли в Геленджикскую бухту, где сформировалась двухслойная циркуляция с оттоком из бухты в придонном слое. Дрифтеры с поверхностным парусом более чувствительны к изменению в поле ветра. Через 24 часа после запуска практически все дрифтеры зашли в Цемесскую бухту, а скорость движения снизилась до 5–7 см/с. Один из дрифтеров, запущенный дальше всего от берега ушел на запад в сторону Анапы.

6–8 октября был проведен еще один эксперимент – запущено 10 дрифтеров (парами, в 5 точках, с парусами, расположенными на 0–0.5 м и 3–4 м). Дрифтеры были запущены в вихрь (рис. 2), зафиксированный во время буксировки ADCP.

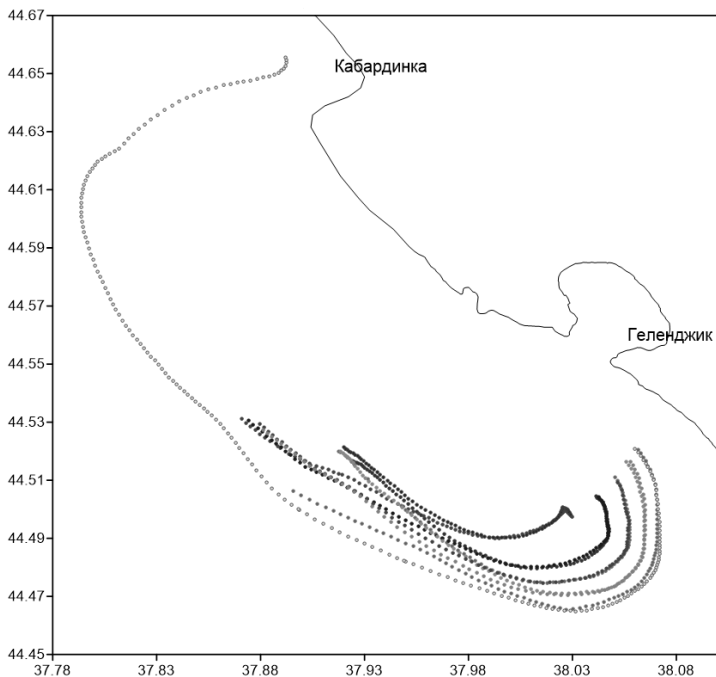


Рис. 2. Траектории движения дрифтеров 6-8 октября 2016

Анализ показал, что при наличии хорошо выраженного вихревого движения траектории дрейфтеров с заглубленными и поверхностными парусами полностью совпадают. Одна из пар дрейфтеров была изначально запущена в северо-западный поток, а остальные 4 пары в юго-восточный. Однако, скорость течения составляла менее 5 см/с, а через час и эта пара была вовлечена в общее движение. Скорее всего, дрейфтеры попали в движущийся вихрь. Спустя сутки 9 дрейфтеров были собраны, так как появилась опасность их утери при попадании в струю ОЧТ. Один из дрейфтеров был оставлен и показал завершение антициклонического круговорота, но в конце течение ослабло, а далее уже дрейфтер стал двигаться по ветру и вошел в Цемесскую бухту. Следовательно, время жизни вихревой структуры закончилось, и режим течений сменился.

Дрейфтеры, оснащенные GPS приемником и GSM связью, успешно используются для изучения течений на гидрофизическом полигоне. Устойчивая GSM связь наблюдается до 6-8 миль от берега в данном районе, что приблизительно соответствует границе шельфа. Дрейфтеры позволяют измерить течения даже в тонком поверхностном слое и на относительно большой по пространству области, что представляет особый интерес при проведении подспутниковых экспериментов или для сопоставления с данными КВ и СВЧ радиолокаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сильвестрова К.П., Мысленков С.А., Зацепин А.Г.** и др. Возможности использования GPS-дрейфтеров для исследования течений на шельфе Черного моря // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 159–166.
2. **Сильвестрова К.П., Краюшкин Е.В., Мысленков С.А.** Анализ данных дрейфующих буев и буксируемого профилографа течений на подспутниковом полигоне в Черном море // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 3. С. 171–184.
3. **Дриго И.В., Мысленков С.А., Сильвестрова К.П.** Сравнение течений по данным GPS-дрейфтеров и заякоренного ADCP в Чёрном море в районе г. Геленджик // XIV Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса». Москва, 2016.

ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНЕНИЯ В ГОЛУБОЙ БУХТЕ (ГЕЛЕНДЖИК)

Очередник В.В.¹, Мысленков С.А.^{2,3}

¹ Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Просторная, 1-з, 353467, г. Геленджик, 8(86141) 2-80-89,
v.ocherednik@ocean.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
stasocan@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ул.
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, 8(495)939-22-15

Paper presents the results of wind wave measurements in the Blue Bay (Gelendzhik). The measurements were performed using pressure sensor with 10 Hz time resolution. Wave heights and spectra obtained during the measurements were compared with SWAN wave model results.

В 2016 году были проведены тестовые измерения волнения при помощи датчика гидростатического давления на пирсе Голубой бухты (Геленджик, ЮО ИО РАН). Измерения производились с частотой 10 Гц, датчик был установлен на глубине 6.5 м. Получены данные с 11:30 до 17:00 3 декабря 2016 года, когда в Черном море наблюдался шторм. Использовались тензопреобразователи избыточного давления D-0.4 (изготовитель – ООО «Микротензор»), преобразующие величину давления в резистивное сопротивление. В системе был применён 16-ти разрядный Σ - Δ АЦП на базе ADuC848. АЦП преобразует напряжение с датчика в Σ - Δ сигнал, пропорциональный давлению.

Коэффициенты для пересчета Σ - Δ сигнала АЦП в давление были найдены при помощи грузопоршневого стенда высокого давления (образцовые груза доступны с шагом 2 дбар). В результате получены калибровочные коэффициенты в интервале от 0 до 14 дбар (рис. 1). Погрешность измерения давления не превышает 1 см.

Данные измерений волнения (рис. 2) сравнивались с результатами математического моделирования. Ранее на пирсе в Голубой бухте измерения волнения производились ультразвуковым уровнемером с частотой

той 5 Гц [1]. Для прибрежной зоны Черного моря развивается система прогноза волнения высокого пространственного разрешения [2, 3, 4]. Система основана на волновой модели SWAN и позволяет прогнозировать параметры волнения в прибрежной зоне Черного моря, в том числе и в Голубой бухте. Пространственное разрешение составляет 100 м в районе пирса, где установлен датчик волнения. В качестве форсинга система использует прогностические поля ветра GFS-0,25°.

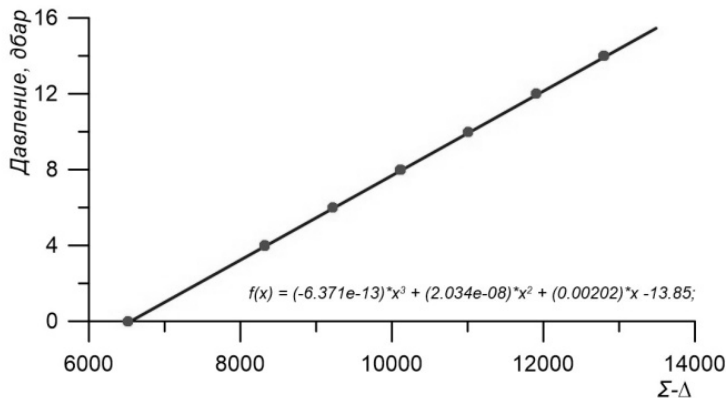


Рис.1. Связь давления и сигнала АЦП

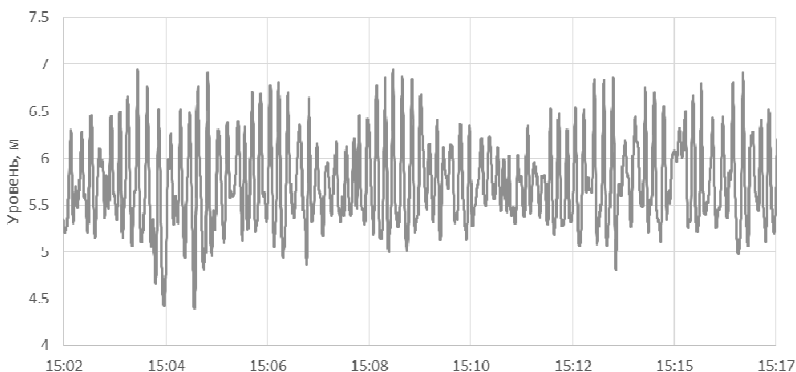


Рис. 2. Уровень моря по датчику давления на 3.12.2016

По данным прогноза на 3 декабря 2016 высота волн на Черном море превышала 7 м (рис.3). Очаг наиболее высоких волн перемещался с запада на восток и вышел к берегу в районе Сочи. В районе Геленджика в открытом море высота значительных волн была 5–6 м. В Голубой бухте по данным моделирования высота волн составила 2–2.5 м, однако по данным измерений 1.5–2 м. Такое отличие может быть вызвано недостаточным пространственным разрешением модели.

По данным измерений были построены спектры в диапазоне периодов 4–22 сек (рис. 4а, б). Чтобы проследить эволюцию спектра колебаний, рассмотрены спектры для отрезков длиной 15 минут, с разницей во времени. По данным измерений на рис.4а выделяются пики на периодах от 9 до 15 сек. Довольно сильно изменяется максимум и во времени. По результатам моделирования общая форма спектра в целом повторяет спектр по данным измерений, однако он более гладкий и почти не меняется во времени.

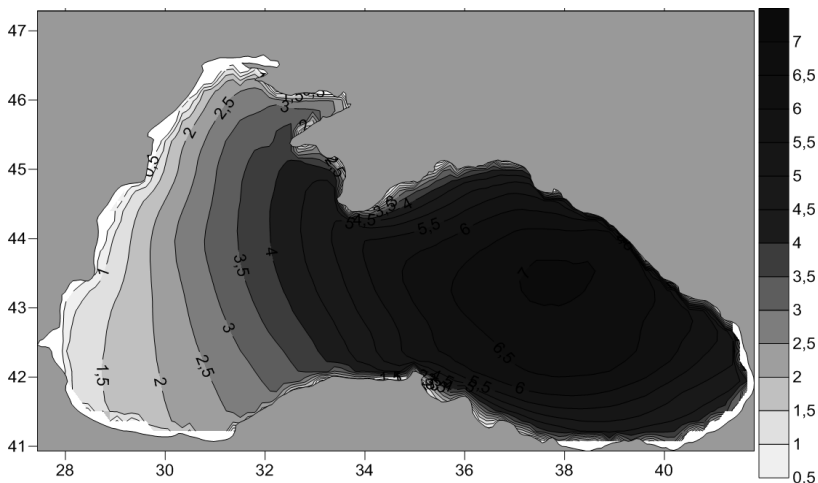


Рис. 3. Высота волн в Черном море на 15:00 3.12.2016

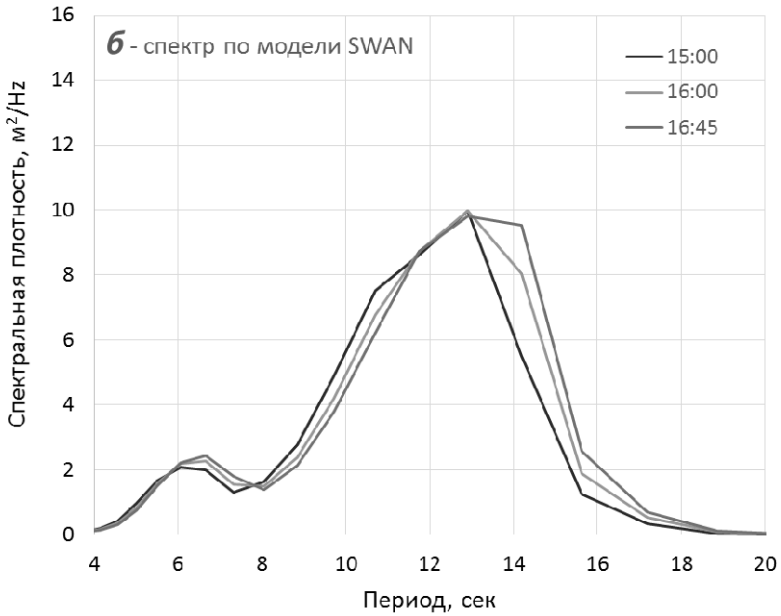
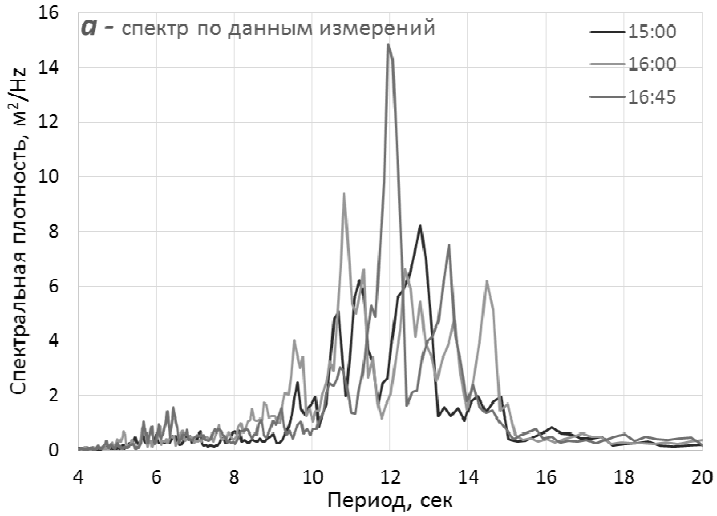


Рис. 4. Спектр колебаний по данным измерений (а) и по результатам моделирования (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Медведев И.П., Архипкин В.С.** Колебания уровня моря в Голубой бухте (Геленджик) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2015. – № 3. – С. 70–78.

2. **Мысленков С.А., Шестакова А.А., Торопов П.А.** Численное моделирование штормового волнения у северо-восточного побережья Черного моря // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 10. – С. 61–71.

3. **Столярова Е.В., Мысленков С.А.** Прогноз ветрового волнения высокого пространственного разрешения в Керченском проливе // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 354. – С. 24–35.

4. **Мысленков С.А., Столярова Е.В.** Прогноз ветрового волнения в Черном море с использованием прогностических полей ветра различного пространственного разрешения // Труды Гидрометцентра России. – 2016. – № 362. – С. 55–65.

УДК 551.46:002

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВМФ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Гасников О.А., Ставров К.Г.

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»,
Кожевенная линия, 199106, Санкт-Петербург,
Тел.: +7(812)322-21-13 Факс.: +7(812)322-33-19
E-mail: .mail@gningi.ru*

The report examines the experience of preparing hydro-meteorological training manuals to ensure common tasks of navigation. Possibilities of using different methods for the development of information technologies and spatial data infrastructure are estimated.

Информационное обеспечение является одним из основных видов обеспечения морской деятельности. Совершенствование системы представления информации о параметрах среды Мирового океана, в том числе, в навигационно-гидрографических приложениях, разработка но-

вых обобщенных подходов к обработке информации и ее междисциплинарный синтез являются одними из ведущих тенденций обеспечения устойчивого развития системы информационной поддержки принятия решений по обеспечению действий ВМФ в Мировом океане.

На протяжении длительного времени в НИОЦ ОАО «ГНИНГИ» осуществляются работы по совершенствованию обеспечения частей и учреждений ВМФ гидрометеорологической информацией. Одним из основных направлений этой деятельности является разработка информационно-справочных систем (ИСС) представления океанографических параметров на ПЭВМ. Специализированные базы данных, входящие в ИСС, формируются по данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, собранным и хранящимся в Банке океанографических данных НИОЦ ОАО «ГНИНГИ».

Способы и средства хранения и обработки данных, способы доставки и формы представления информации менялись в зависимости от требования потребителей, их возможностей и степени развития информационных технологий. В 80-е годы это были справочные системы на базе ЕС-1040. Использование автоматизированных методов обработки позволили сократить время подготовки пособий в несколько раз. Так «Справочник гидрометеорологических параметров и их совокупностей» по Северному и Балтийскому морям был подготовлен за один год.

Дальнейшее развитие они получили в качестве автономных приложений на базе персональных компьютеров. Информационно-справочные системы по гидрометеорологическому режиму морских акваторий были подготовлены для Баренцева, Балтийского, Норвежского, Охотского, Японского морей и переданы потребителям (ГМС ВМФ, ГМЦ ВМФ, 452, 402 и 393 ГМЦ, 373 Центр ВМФ и 6 ВСОК ВМФ). Унифицированный интерфейс и формат баз данных позволял легко подключать к ИСС новые информационные ресурсы и обновлять старые.

Следующим шагом в развитии ИСС стало создание специализированных приложений. Специалистами НИОЦ был разработан макетный образец гидроакустической справочной системы (ГАУСС) и созданы специализированные базы данных по северо-западной части Тихого океана, Норвежскому и Баренцеву морям.

Дальнейшее совершенствование ИСС осуществляется путем перехода на использование геопространственной информации на основе геоинформационных систем, Web-технологий и клиент-серверных приложений. В качестве примера их использования можно назвать серию пособий электронных навигационных описаний районов и атласов различных морей Российской Федерации, информационно-справочной сис-

темы геопространственных данных о параметрах природной среды Северного Ледовитого океана. Некоторые из названных информационных продуктов будут представлены в отдельных докладах на нашей секции.

На основе опыта проведенных работ сформировалась трехступенчатая модель хранения, обработки и представления океанографических данных (рис.1).

Первая ступень отражает традиционные технологии получения, хранения и актуализации данных.

На основе баз архивного хранения формируются специализированные базы данных, которые включаются в интегрированный банк данных (ИБД), представляющий собой следующую (вторую) ступень системы хранения, обработки и представления информации. Главной ее функцией является централизованное управление информационным фондом посредством интеграции данных и взаимосвязанном ведении информационных ресурсов.



Рис. 1. Технология формирования ИСС

Сформированные по запросу базы данных на сервере являются основой для создания специализированных информационных справочных систем (ИСС), которые собственно и являются третьей ступенью системы хранения и обработки данных. По существу они представляют собой проблемно-ориентированные приложения, предназначенные для решения прикладных задач и подготовки выходной информационной продукции. В качестве ИСС могут выступать электронные версии лоций, навигационно-гидрографических пособий и руководств, специальные пособия для ВМФ, пособия по географии морей и океанов, научно-технические и учебные пособия, экспертные системы, БИУС, интегрированные системы подводного наблюдения (ИСПН) и боевого управления (ИСБУ).

К сожалению, анализ выполняемых в нашей стране работ по созданию ИСС показал, что результаты все еще далеки от совершенства. Основной акцент делается на технические вопросы сбора и представления информации. В тоже время вопросам методов обработки информации и учета ее потребителям не уделяется должного внимания.

В качестве некоторых путей развития информационно-справочных систем можно отметить следующие:

- Подготовка «живых» ИСС на основе оперативного мониторинга водных акваторий и данных реанализа.
- Использование топологических методов при анализе и классификации метеорологических и океанологических полей. Аппарат алгебраической и дифференциальной топологии позволяют получить логически обоснованный инструмент для работы с пространственными данными при создании единого информационного пространства.
- Исследование явления перемежаемости гидрометеорологических элементов, с последующим использованием характеристик перемежаемости в практике ГМО. В существующей практике ГМО ВМФ изменчивость гидрометеорологических элементов практически не имеет пространственно-временного разрешения. Сейчас изменчивость представляется повторяемостью в некоторых фиксированных «квадратах» по пространству (одноградусных, пятиградусных) и времени («многолетний» год, месяц), поэтому совокупное описание изменчивости во всех масштабах или хотя бы в интервале масштабов отсутствует.
- Обоснование комплекса параметров описывающих изменчивость гидрометеорологических элементов, влияющих на действия ВМФ, которые описывают изменчивость во всех масштабах, и разработка методов оценки влияния ее на деятельность ВМФ.

ГОЛЬФСТРИМ: ЛОЖНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

Бондаренко А.Л.

*Институт водных проблем РАН,
ул. Губкина, д. 3, 119333, г. Москва,
8(499)135-54-56, <albert-bond@mail.ru>*

The new concept of nature of the Gulf Stream. It substantiates the analysis of the full-scale current information.

В январе 2003 года группа исследователей, работающая с установкой LEPS на японском накопителе SPring-8, опубликовала результаты поиска экзотической частицы Z^+ . Частица была найдена! И более того, она была найдена именно там, где ее предсказывали солитонные модели устройства барионов. «Если выяснится, что это не случайное совпадение, то нам придется сделать вывод, что вся материя вокруг нас – и мы сами! – состоим из сплошных солитонов!». WWW.astronet.ru/db/msg/1188217.

Смысл эпиграфов станет ясен по мере прочтения доклада (Автор).

Автор данного доклада давно изучает Гольфстрим и другие океанические течения и уверенно заявляет: человечество имеет совершенно неверные представления об океанических течениях, в частности, Гольфстриме. Современная наука объясняет неверно или вообще не может объяснить многое, а практически почти всё, в поведении Гольфстрима. Причина: учёные в своих объяснениях океанических течений руководствуются неверными, хотя и общепринятыми представлениями, концепциями природы течений. С позиции новой, своей концепции течений, автор смог объяснить практически всё ранее необъяснимое или неверно объясняемое в поведении Гольфстрима. Обо всём этом доказательно, с привлечением натуральных наблюдений изложено в [1]. В данном докладе об этом будет изложено лишь частично.

Концепции океанических течений. По кинематическим свойствам принято выделять следующие два вида океанических течений: градиентные и ветровые течения. Концепции этих течений популярны и общеприняты. Раньше считалось, что градиентные течения направлены по наклону уровня океана. Первым их так объяснил Аристотель (V в. до н. э.). В настоящее время градиентные течения объясняются с позиции

концепции Хелланд-Хансена и Сандстрема, сформулированной в 1902–1903 гг., ими получены зависимости скорости течений от наклона уровня воды океана [2]. Считается, что течения геострофические и направлены вдоль наклона уровня океана. Математическое описание ветровых течений было дано Экманом в 1905 г., получены зависимости скорости течений от скорости ветра [3].

Эти концепции были созданы и развивались практически без всякой ориентации на натуру и без обоснования натурой.

Концепция автора океанических течений. По исследованиям автора океанические долгопериодные волны, называемые волнами Россби, на самом деле не являются таковыми, а являются волнами солитонами. Океанические течения есть не что иное, как орбитальные движения частиц волн. В настоящее время установлено присутствие этих волн во многих средах. И вот теперь автор показывает, что они существуют в океанах. Эти волны рассматриваются, как устойчивые слабо нелинейные образования, параметры которых неизменны или во времени. Например, автором установлено, что фазы волн экваториальной и субтропической зоны Тихого океана на протяжении двадцати пяти лет не менялись [1, 4].

Океанические волны солитоны в открытом океане распространяются в западном направлении. Достигая берега, они распространяются вдоль него в южном направлении. Длина волн в открытом океане соизмерима с тысячами километров, период – порядка месяца. Но у берега они существенно меньше. Так, в районе Гольфстрима они составляют: период порядка 10 суток, а длина, порядка 300 км. На рис. 1 изображены силовые линии, линии тока волн солитонов, в частности, в Гольфстриме и его окружении, т. е. направление силы, действующей на частицы воды. Волны движутся в противоположную сторону течения Гольфстрим. Величина силы пропорциональна плотности силовых линий. В Гольфстриме плотность линий тока наибольшая в волне, соответственно, и скорости наибольшие, они достигают 3–4 м/с, в то время как за пределами Гольфстрима они невелики, ~ 10 см/с. Орбитальные движения частиц воды волн формируют также противотечения: поверхностные с боков Гольфстрима и глубинное под Гольфстримом. Скорости поверхностных противотечений небольшие, 5–10 см/с, а глубинных – большие и достигают, 70 см/с, особенно у дна и в близости Флоридского пролива. Ранее наука не могла объяснить наличие противотечений.

Считается, что Гольфстрим переносит теплые воды Мексиканского залива или Карибского моря к берегам Европы и в Северный Ледовитый океан. Покажем, что это не так. Гольфстрим не переносит воды в про-

странстве, а поэтому не обогревает Европу и Северный Ледовитый океан. Рассмотрим эту проблему.

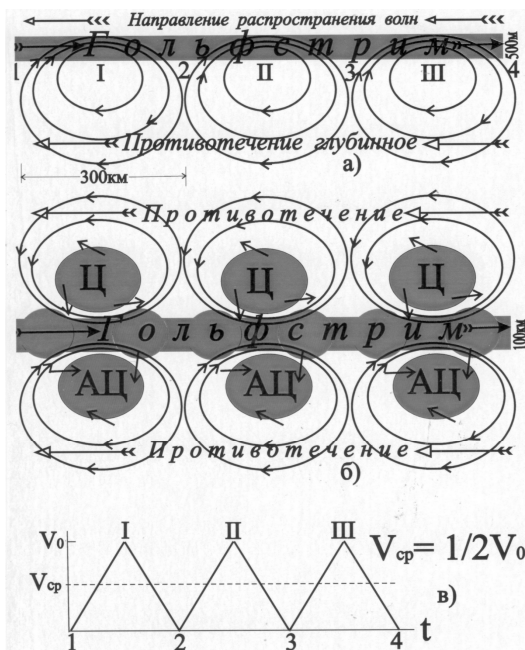


Рис. 1а, б, в. Линии тока в виде эллипсов долгопериодных волн, похожих на волны солитоны в вертикальной плоскости, проходящей через Гольфстрим через центр волн (а) и в горизонтальной плоскости у поверхности воды (б)

Стрелки на линиях тока – направление силы, воздействующей на частицы воды, что одно и то же – направление течений. АЦ – антициклон, антициклональное движение воды, область конвекции и опускания на глубину тёплой воды. Ц – циклон, циклональное движение воды, область дивергенции и подъёма холодной воды с глубины океана на его поверхность. Красными и синими кружками выделены области опускания тёплой воды с поверхности океана на глубину и подъёма холодной воды с глубины на поверхность океана, создаваемые вертикальными движениями частиц воды волн. Модуль скорости течения, измеренного стационарно установленным прибором у поверхности воды или дрейфтером в моменты времени прохождения через них частей волн I, II, III, и т.д., 1, 2, 3, 4 и т. д., V_0 – амплитуда модуля скорости течения волны, V_{cp} – модуль средней скорости течения волны, t – время (а)

Рассмотрим, как измеряются течения во времени. В фиксированный момент времени в точках 1, 2, 3, 4 расположенных между волнами скорости течений равны нулю, а в точках I, II, III – максимальны. Мы задавали вопрос, что заставляет Гольфстрим останавливаться, затем набирать скорость и снова останавливаться? И вот ответ: долгопериодные волны, похожие на волны солитоны. Такое распределение скоростей течений в волнах фиксируется дрейфтером или стационарно установленным в потоке прибором, как пульсирующее течение, аналогичное, рис. 1в. При фильтрации этого пульсирующего течения путём осреднения измерений по времени равному периоду волны выделяем высокочастотную волновую часть течений и низкочастотную квазипостоянную часть течений. Эта низкочастотная часть есть ни что иное как средняя величина волнового течения. Эту среднюю часть, полученную в результате фильтрации волновых течений, исследователи ошибочно относят к крупномасштабным течениям. Таким образом, присутствие в океане волновых течений вносит существенную погрешность в измерения крупномасштабных течений. Может оказаться и так, что крупномасштабных течений нет, а мы ложно их фиксируем, принимая за них среднюю скорость волновых течений, равную

$$V_{cp} = KV_0, K=1/2.$$

Таким образом, если мы регистрируем течения, в которых присутствуют волновые течения и величина выделенных низкочастотных течений будет равна $1/2V_0$, то это значит, что квазипостоянных, крупномасштабных течений нет, а есть только волновые. В реальности так и есть. Так, например, если подвергнуть описанному здесь анализу запись модуля скорости движения дрейфтера в Гольфстриме (рис. 2), то получим, что скорости крупномасштабных течений в Гольфстриме равны нулю или очень малые. Наши выводы подтверждаются следующими данными измерений. Так Гольфстрим выходит только из Мексиканского залива (рис. 2), но вод Мексиканского залива в Гольфстриме нет, он состоит из вод Саргассова моря и склоновых вод со стороны материка [5].

Таким образом, пульсирующий характер течений Гольфстрима указывает на то, что течение состоит только из течений волн, т. е. орбитальных движений частиц воды волн и в нём отсутствует постоянное крупномасштабное течение. Как и во всяких волнах, в долгопериодных волнах масса воды в пространстве не переносится, она перемещается по замкнутому контуру внутри волны. Создаётся иллюзия переноса масс, поскольку прибор не фиксирует движения частиц воды движущихся по орбитам, которые на самом деле переносят массу воды, а только некую горизонтальную составляющую действия на прибор частиц воды волн.

Такое происходит при измерениях течений не только дрейфтером, но и стационарно установленным в воде прибором. Это подтверждается тем, что Гольфстрим “выходит” из Мексиканского залива, а вод залива в Гольфстриме нет. Таким образом, можно говорить о том, что Гольфстрим не переносит массы воды и не обогревает Европу и Арктику, как это считается.

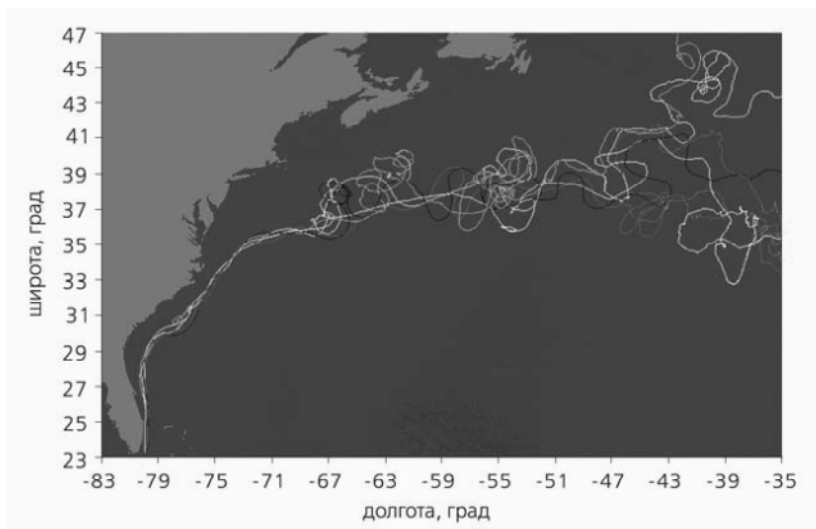


Рис. 2. Средние по ансамблю дрейфтерных наблюдений векторы течений в Гольфстриме. Красным цветом выделена трасса дрейфтера скоростями течений порядка 0,5–1 м/с

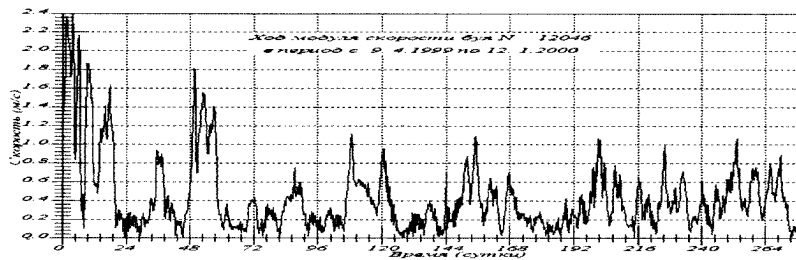


Рис. 3. Модуль скорости движения одного из дрейфтеров, трассы которых изображены на предыдущем рисунке

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А.Л.** “Крупномасштабная динамика и долгопериодные волны Мирового океана и атмосферы” Москва, 2016 г. <http://www.randewy.ru/gml/bond0916.html> <http://meteoweb.ru/aa0.php>
2. **Sandström I.W., Helland-Hansen B.** Über die Berechnung von Meeresströmungen// Norw/ Fish., Mar. Invest. 1903. V. 2. № 4.
3. **Ekman V.W.** Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen. Annalen der Hydr. u. Marit. Met. 34. 2006.
4. **Бондаренко А.Л.** Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. Март–апрель, № 2. 2013. С.28–31. http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/bondarenko_rossby.doc
5. http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf
6. **Каменкович В.М., Кошляков М.М., Монин А.С.** Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 264с.

УДК 551.46(262.81)

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫМИ ВОЛНАМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНЕ ГОЛЬФСТРИМА

Бондаренко А.Л.

*Институт водных проблем РАН,
ул. Губкина, д. 3, 119333, г. Москва, 8(499)135-54-56, tina@iwp.ru*

Conformities of formation of surface water temperature field near the Gulfstream by oceanic long-period waves are considered

Рассмотрим на следующем примере закономерности формирования температуры поверхностных вод долгопериодными волнами в районе Гольфстрима. На рис. 1а изображено поле температуры вод северо-западной части Атлантического океана на глубине 5 м 5 февраля 1997 г. Следует отметить, что вода на поверхности такая же, как и на глубине 5 м, с глубиной температура воды изменяется незначительно (рис. 1б). Видно, что в целом в этой части океана изотермы простираются почти вдоль широты. На юге вода тёплая, 25°C, а к северу она уменьшается и приблизительно на 40° с. ш. равна 12°C.

Но в западной части океана, у берегов США, изотермы вытянуты вдоль берега, образуя формы вытянутых петель, ограничивающих части океана с более тёплой водой внутри петель, чем за их пределами. Глядя на такое распределение температуры воды (рис. 1а, б), у исследователя складывается впечатление, что эти петли образованы теплыми водами Гольфстрима, поступающими с юга, в основном со стороны Саргассова моря и лишь частично из Мексиканского залива. Именно так, по распределению температуры вод, в своё время было выделено положение Гольфстрима. Существует популярное представление о том, что Гольфстрим – тёплое течение и его тёплые воды проникают далеко на север. Это, вроде бы, и видно на рис. 1а, б.

В настоящее время приняты наукой две гипотезы образования Гольфстрима. Первая – Гольфстрим образован тёплыми водами Антильского течения, которое проходит с юго-востока на северо-запад, и примерно в точке с координатами 25°N и 76°W переходит в Гольфстрим. Скорее всего, автор рис. 1а трассу Антильского течения обозначил различного рода формами в виде коротких прямых линий и углов. Вторая гипотеза – Гольфстрим образован в основном тёплыми водами Антильского течения и лишь частично тёплыми водами, поступающими из Мексиканского залива. Напомним, что ранее была популярна гипотеза – Гольфстрим полностью выходит из Мексиканского залива. Эти новые гипотезы были созданы, когда выяснилось, что воды Гольфстрима состоят из склоновых вод, поступающих со стороны материка и вод Саргассова моря, а вод Мексиканского залива в Гольфстриме нет. Такое распределение температуры поверхностных вод около Гольфстрима (рис. 1а), вроде бы и не противоречит этим новым гипотезам формирования Гольфстрима.

На рис 1в красным цветом выделена область реального Гольфстрима со скоростями больше 50 см/с. Если сопоставить положение Гольфстрима с температурным полем, то последуют такие выводы. Во-первых, Гольфстрим выходит только из Мексиканского залива. Во-вторых, тёплые воды, вытянутые на север находятся за пределами Гольфстрима, справа. Объяснение этому невозможно дать, если рассматривать Гольфстрим как градиентное течение, т.е. так, как это общепринято. Это можно объяснить с позиции концепции автора доклада океанических течений.

Концепция автора доклада океанических течений. По исследованиям автора океанические долгопериодные волны, называемые волнами Россби, на самом деле не являются таковыми, а являются волнами солитонами. Океанические течения есть не что иное, как орбитальные движения частиц волн. В настоящее время установлено присутствие этих

волн во многих средах. И вот теперь автор доклада показывает, что они существуют в океанах [1, 2]. Эти волны рассматриваются, как устойчивые, слабо нелинейные образования, параметры которых неизменны во времени.

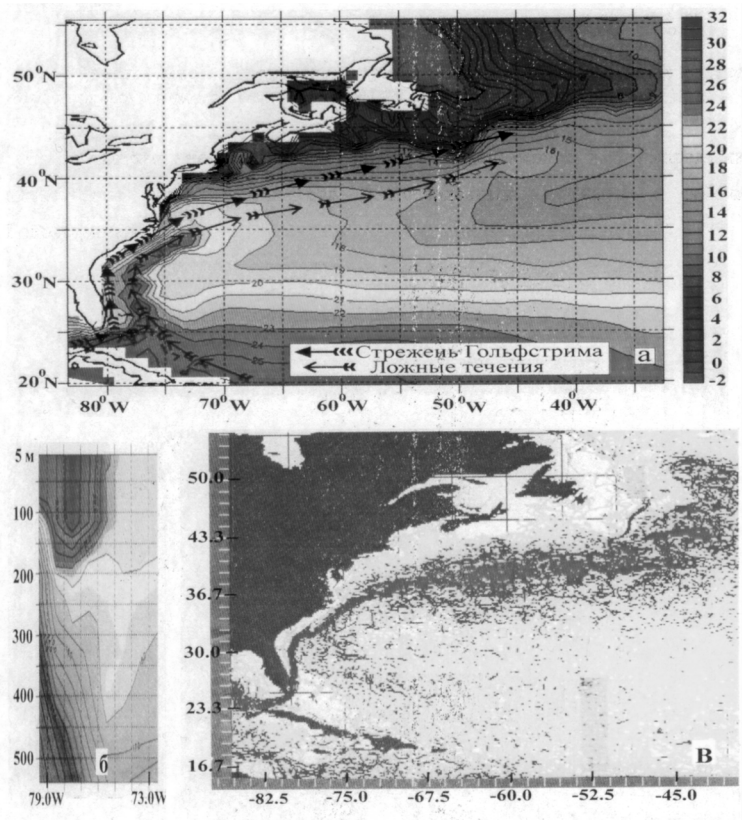


Рис. 1. а) Температурное поле воды в изотермах северо-западной части Атлантического океана на глубине 5 м 5 февраля 1997 г., числа при изотермах – температура воды в градусах Цельсия; б) Температура воды по вертикальному сечению, проходящему по 29°N между пунктами 80°W и 72,5°W [ecco.jpl.nasa.gov/external/index.php]; в) Красным цветом выделена область Гольфстрима со скоростями превышающими 50 см/с. Скорости и местоположение течений получены по данным дрейфтерных измерений

Вот как формируются волновые течения, в частности Гольфстрима. Волны, распространяющиеся вдоль берега против направления течения Гольфстрим, слева от направления распространения волн формируют антициклональные движения воды, в которых образуется тёплая вода, а справа – циклональные движения с холодной водой (рис. 1 а, б). Что и наблюдается в реальности (рис. 1а). В тёплых водах температурных петель наблюдаются аномалии тёплой воды округлой формы, они образуются в центрах зон конвергенции волн. Расстояние между аномалиями равно длине волны, приблизительно 200 км. На юге эти аномалии распространяются вдоль о-ва Куба в сторону Мексиканского залива. Эти аномалии сформированы долгопериодными волнами.

Изложенный выше пример формирования температурного поля океана является очередным доказательством состоятельности концепции автора доклада о формировании температуры поверхностных вод океаническими волнами солитонами.

Таким образом, если придерживаться принятой и изложенной выше гипотезы о формировании Гольфстрима, то ошибка в определении его положения будет ~ 300 км. Однако существуют и другие широко распространённые представления о динамике Гольфстрима.

Согласно этим представлениям тёплые температурные аномалии, сформированные антициклоническими волновыми движениями вод есть тёплые вихри Гольфстрима, которые должны находиться слева от Гольфстрима. Тогда Гольфстрим должен быть расположен на расстоянии приблизительно 200 км восточнее от аномально тёплой области океана, принимаемой за область Гольфстрима. В этом случае, ошибка в определении положения Гольфстрима будет составлять приблизительно 500 км.

Итог. Таким образом, автор доклада показал, как океанические долгопериодные волны формируют температурное поле поверхностных вод в районе Гольфстрима и тем самым продемонстрировал состоятельность его концепции формирования динамики океана волнами солитонами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А.Л.** Крупномасштабная динамика и долгопериодные волны Мирового океана и атмосферы. Москва, 2016 г. <http://www.randewy.ru/gml/bond0916.html> <http://meteoweb.ru/aa0.php>.
2. **Бондаренко А.Л.** Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане//Наука в России. март-апрель, № 2. 2013. С.28–31. http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/bondarenko_rossby.doc
3. http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf

**ОТКРЫТИЕ ТЕЧЕНИЙ ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ –
ВЕЛИЧАЙШЕЕ ДОСТИЖЕНИЕ ОКЕАНОГРАФИИ XX ВЕКА
(70 ЛЕТ ИЗУЧЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА)**

Щевьев В.А.

*Институт Водных проблем РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел.
499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru*

In 1979 S.S. Lappo basing on the analysis of instrumental observations (experiments MODE POLIMODE) made a conclusion: "Wave phase in the study of ocean current nature has come". In the previous and the next 36 years, the results of Kort V. G., Monin A. S., Kochargin N. N., Kamenkovich, V. M., Koshlyakov M. N., Grachev Yu. M., Talpsepp L. A. confirmed that the currents of wave nature were in fact mainly observed in the oceans and seas.

В работе Лаппо С. С. «Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М. Наука, 1979» на основе анализа результатов долговременных инструментальных наблюдений на буйковых станциях, которые проводились предыдущие 20 лет (ПОЛИМОДЕ и др.), автор сделал вывод: «Результаты наблюдений привели к коренному **пересмотру** представлений о закономерностях изменчивости течений в океане, что весьма резко расходилось с существующими теоретическими концепциями». Хорошее представление о течениях дают энергетические спектры (рис.1). Основная энергия сосредоточена в длиннопериодных волновых течениях (ДПВТ) и в инерционных, так же имеющих волновую природу. Спад энергии на периодах 2 – 4 суток соответствует пику энергетического спектра ветра, поэтому вопрос о связи синоптической изменчивости атмосферы и динамических процессов (течений) в океане остается открытым. **«Начался волновой этап в изучении течений».**

Существует немало работ, в которых делается аналогичный вывод о необходимости пересмотра существующих представлений о течениях.

Е. Г. Никифоров на I съезде советских океанологов (1977) сказал: «Проблема объяснения современной циркуляции вод не может считаться удовлетворительно решенной даже на уровне качественных гипотез.

Гипотеза о ветровом происхождении циркуляции вод не объясняет глубинную циркуляцию, а гипотеза о термохалинной природе опирается главным образом на существующее поле плотности. Поэтому никаких выводов о природе циркуляции вод на основе расчетов, выполненных по фактическому полю плотности сделать так же невозможно».

Возможность существования длиннопериодных волн (ДПВ) в океане была предсказана теоретически в конце 19го – в начале 20го веков (волны Россби, Кельвина, топографические, захваченные берегом, экватором, планетарные) [3]. Их проявление в изменении уровня начали регистрировать с 60х годов прошлого века. Инструментальными наблюдениями топографические волны были зарегистрированы в 1976 г. в оз. Онтарио.

Бондаренко А. Л. по результатам инструментальных наблюдений в Среднем Каспии показал, что наибольшая доля энергии в динамике моря принадлежит длиннопериодным волнам и инерционным. Ветровым течениям принадлежит лишь до 5% энергии. По результатам наблюдений была определена фазовая скорость длиннопериодной волны (35 см/с.), показана связь длиннопериодных волн и течений крупномасштабной циркуляции [1].

Корт В. Г. (1981) на основе анализа дрейферных наблюдений в Южном океане показал, что траектории дрейфа буев испытывают существенные изменения как по направлению, так и по скорости за разные периоды времени (от суток до месяцев). Почти каждая траектория буя на всем протяжении имеет **волновой** характер. Наиболее часто повторяющимися и энергонесущими возмущениями являются волновые колебания с периодами 5-20 суток и длиной волны от 200 до 400 км. Среднее значение длины волны равно 378 км, периода 17,6 суток.

После появления работы С. С. Лаппо прошло 37 лет. За эти годы было проведено большое количество долговременных регистраций длиннопериодных волновых течений (ДПВТ) во всех районах Мирового Океана, в окраинных и внутренних морях и в крупных озерах. Анализ результатов этих исследований показывает, что движение ДПВТ наблюдается вдоль экватора с востока на запад в трех океанах. При достижении западных берегов длинноволновые течения направляются на север и на юг, образуя **крупномасштабные антициклонические циркуляции** отдельно в северных и в южных частях трех океанов, как результирующее движение течений волновой природы.

В работе [4] показано, что наряду с антициклоническими циркуляциями в каждой из частей, северной и южной трех океанов существуют крупномасштабные **циклонические циркуляции**. Самыми известными частями этих циркуляций являются экваториальные противотечения.

Одним из источников противотечения Ломоносова является антило-гвианское противотечение [4].

Монин А. С., Кочаргин Н. Н. (2008) рассматривали экваториальные противотечения в каждом океане в совокупности с их истоками в западной части океанов и продолжениями в восточной части. Можно видеть, что противотечения являются наиболее известными частями **циклони-ческих** крупномасштабных циркуляций в каждом из трех океанов (рис. 1 в тезисах «Природа экваториальных противотечений» настоящего сборника).

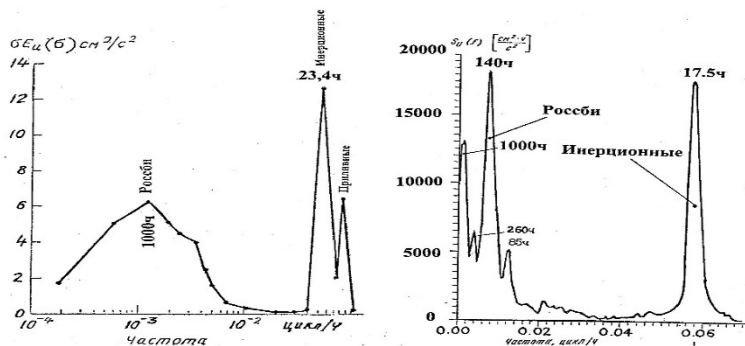


Рис. 1. Функции спектральной плотности в океане и в Каспии

Такие же циклонические крупномасштабные циркуляции существуют в окраинных и внутренних морях, и в крупных озерах. Инструментальные наблюдения показывают, что и циклонические циркуляции являются результирующим движением длиннопериодных волновых течений, проходящих вдоль берега.

Наиболее вероятную причину образования ДПВТ нам помогла выявить работа А. С. Монина, Ю. А. Шишкова «История климата», в которой показано, что течения вдоль экватора с востока на запад возникают из-за ежедневно изменяющихся воздействий приливообразующих сил Луны и Солнца (ПОСЛ и С) на водную массу вблизи экватора (гипотеза И. Канта) [6, 7]. Для лучшего понимания механизма этого воздействия была рассмотрена закономерность изменения приливообразующих сил Луны в самом простом случае, когда плоскость вращения Луны совпадает с плоскостью экватора. Оказалось, что в действитель-

ности на любой объем воды в океане ПОС действует 12 ч. в восточном направлении, и 12 ч. в западном. Такие ежесуточные периодические воздействия в противоположном направлении могут привести к образованию ДПВ течений [6,7].

Таким образом, приведенное описание процесса исследований природы течений океана, морей и крупных озер со всей очевидностью показывает правильность вывода С. С. Лаппо: «**Начался волновой этап в изучении течений океана**». В настоящее время он успешно продолжается.

Результаты, подтверждающие этот вывод, находим в следующих работах сотрудников ИО РАН. Корт В. Г. 1977; 1981; Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С. 1982; Океанология. Физика Океана. Гидрофизика океана. Т1. Гл. ред А. С. Монин. 1978; Koshlyakov M. N, Grachev Y. M.,1973; Талпсепп Л. А.1982 Диссертация. к.ф.-м.н.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А.Л.** Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. – М.: Наука, 1993. 123с.
2. **Лаппо С. С.** Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. – М.: Наука, 1979. 181 с.
3. **Корт В. Г.** Мезомасштабная изменчивость течений и температуры в Южном океане по данным дрейфующих буев. – Океанология. 1981. Т. XXI. Вып. 3. С. 405–415.
4. **Корт В. Г.** Антило-Гвианское противотечение. – Океанологические исследования, 1977. № 25.
5. **Монин А. С., Кочаргин Н. Н.** Десять открытий в физике океана. – М.: Научный мир, 2008.
6. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. 2012. ISBN: 978-3-8484-1929-6.
7. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>

УДК 53 (551.46)

ПРИРОДА ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ПРОТИВОТЕЧЕНИЙ ОКЕАНОВ

(70 ЛЕТ ИЗУЧЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА ИО РАН)

*Институт Водных проблем РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел.
499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru*

Щевьёв В. А.

Equatorial Countercurrents (from west to east) in the Atlantic, Pacific and Indian Oceans are the most well-known parts of the large-scale cyclonic circulations. The impact of tide-generating forces of the Moon and Sun on the ocean water masses is the most likely reason for the formation of these circulations.

Экваториальные противотечения (с запада на восток) обнаружены в Атлантическом (течение Ломоносова), в Тихом (течение Кромвелла) и в Индийском (течение Тареева) океанах [Монин, Кочаргин, 2008].

«Течение Ломоносова (ТЛ) в Атлантике обнаруживается от северо-восточного берега Бразилии (40–42° з. д.) до африканского континента (около 5° в. д.). Течение Ломоносова эпизодически выходит на поверхность океана. Пространственный масштаб такого явления простирается на несколько сотен километров, а временной период – до нескольких недель. Источником экваториального противотечения с юга является Бразильское противотечение. Источником этого противотечения с севера является Антило-Гвианское противотечение, открытое в 1969 г. (5-й и 12-й рейсы НИС «Академик Курчатов», руководитель В. Г. Корт). Его протяженность 3900 миль от Багамских островов до экватора. Это постоянный поток юго-восточного направления, противоположный Антильскому и Гвианскому течениям от 5° до 23° ю. ш. Его ширина 200 км, глубина от 200 до 1000 м, расход вдвое меньше Гольфстрима. По мнению ученых, открывших Антило-Гвианское противотечение, оно служит одним из основных источников глубинного противотечения Ломоносова. В восточной части экватора в районе Гвинейского залива ТЛ раздваивается. Одна ветвь поворачивает к юго-востоку и далее следует к югу вдоль африканского побережья, дает начало прибрежному Ангольскому течению. Вторая ветвь ТЛ отклоняется к северо-востоку, и затем поворачивает на запад.

Течение Кромвелла пересекает весь Тихий океан (16 тыс. км). Зарождается в районе 130–135° в. д. Его источником являются течение Миндао, идущее на юг со стороны острова Миндао (Филиппины), а также воды, поступающие из проливов между Зондскими островами, а в нижних его слоях – это воды из Кораллового моря, омывающего северо-восточное побережье Австралии. Глубже 250–300 м. восточный зональный поток под экватором сменяется западным направлением вод. У Гапагосских островов течение Кромвелла раздваивается. Раздвоение ядра ТК перед островами и его восстановление за ними указывает, что экваториальные глубинные противотечения создаются локальными силами, стабилизирующими такие течения.

Течение Тареева (ТТ) наблюдается в экваториальной зоне Индийского океана от 49° в. д. до 92° в. д. и около 3° по широте. Ближе к середине океана ТТ замедляет свое движение, связанное с пересечением экватора гряды Мальдивских островов, а затем восточнее этих островов противотечение снова усиливается. Основным источником ТТ являются воды из Аравийского моря. Кроме того, с юга ТТ подпитывается Восточно-Африканским течением (вдольбереговым западным пограничным потоком), несущим свои воды с юга к экватору вблизи берегов Танзании и Кении».

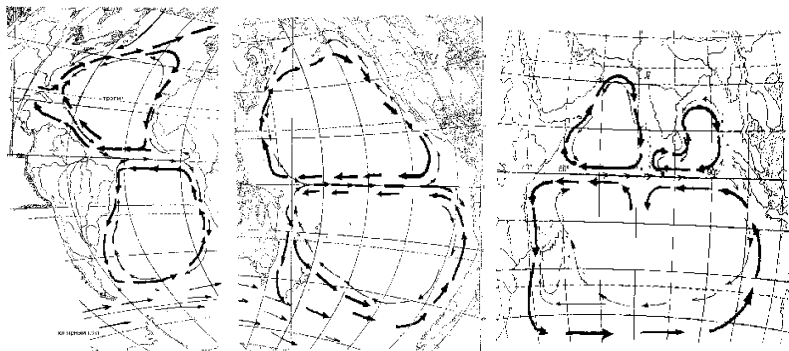


Рис. 1. Крупномасштабные антициклонические (толстые линии) и циклонические (тонкие линии) циркуляции в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах

Авторы отмечают: «привязанность экваториальных противотечений к экватору указывает на его примечательную особенность, проявляющуюся в роли своеобразного волновода, «захватывающего» и «удержи-

вающего» эти потоки в пределах экваториальной полосы (от 2^0 с. ш. до 2^0 ю. ш.). Естественно возникает вопрос: какова природа такого волновода, и какие силы формируют эти **противотечения**?».

Рассматривая противотечение в каждом океане в совокупности с их истоками в западной части океанов и продолжениями в восточной части, хорошо видим, что противотечения являются наиболее известными частями **циклонических** крупномасштабных циркуляций в каждом из трех океанов (рис. 1) [2,3]. Мальвинское течение (МТ) – это западная часть циклонической крупномасштабной циркуляции Южной Атлантики [5]. Авторы наблюдали МТ в районе широты 40^0 ю. ш. МТ несет холодные воды Антарктики в направлении экватора вдоль западного берега Аргентинского бассейна. Измерители течений всех АБС показывают донную интенсификацию, их высокочастотная составляющая говорит о захваченные дном волны с периодами 20 и 60 дней. Транспорт МТ оценивается до 50 св. Очень похожие исследования, но в западной части Индийского океана описаны в статье [4]. Данные измерителей течений в Мозамбикском проливе показывают общий транспорт 8,6 св. в южном направлении (западная ветвь антициклонической циркуляции), и глубинного западного пограничного **противотечения** с ядром на 1700 и 2200 м и транспортом 1,5 св. в северном направлении (западная ветвь циклонической циркуляции). В изменчивости течений в верхних горизонтах наблюдаются периоды 68 суток, и авторы интерпретируют наблюдаемую изменчивость как нормальную моду волн Россби Мозамбикского канала.

Многочисленные измерения показывают, что течения в океане имеют волновую природу. Известно, что циклонические крупномасштабные циркуляции наблюдаются во всех морях и крупных озерах [Филатов 1983]. Есть разные точки зрения на причины образования циклонических крупномасштабных циркуляций: а) ветровое воздействие (завихренность), б) отклоняющее действие кориолисовой силы на втекающие реки.

Для нас теоретическим обоснованием причины образования длиннопериодных волновых течений в морях и океанах, имеющих циклоническую направленность движения, служит каналовая теория Эри (1842 г.), который рассмотрел результат воздействия приливообразующих сил Луны и Солнца на водные массы в каналах ориентированным по параллелям и меридианам. В первых возникают поступательные приливные волны, а в узких меридиональных каналах – стоячие. В природных условиях имеет место сочетание волн различного типа в зависимости от типа водоема. В бассейне прямоугольной формы в результате воздействия приливообразующих сил происходит циклоническое вращательное

движение наклонной поверхности моря вокруг некоторой неподвижной точки. Примеры инструментальных наблюдений позволяют сделать вывод, что природа циклонических волновых длиннопериодных движений в морях и океанах аналогична. Наиболее вероятная причина возникновения и пополнения энергии течений волновой природы – воздействие приливообразующих сил Луны и Солнца на **водную массу** этих водоемов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Монин А. С., Кочаргин Н. Н.** Десять открытий в физике океана. М. Научный мир. 2008.
2. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6.
3. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>
4. **Harlander U., Ridderinkhof H., Schouten M. W., W. P. M. de Ruijter.** Long-term observations of transport, eddies, and Rossby waves in the Mozambique Channel. Jour. Geoph. Res. Vol. 114, 2009.
5. **Spadone A., Provost Ch.** Variations in the Malvinas Current volume transport since October 1992. J. G. R. VOL. 114, 2009.

УДК 532.59:534.1

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ С УЧЕТОМ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

*Институт проблем механики им.А.Ю.Ишлинского РАН,
пр. Вернадского, 101-1, 119526, г. Москва, 8(903)722-0761,
internalwave@mail.ru*

The paper is devoted to research of internal gravity wave dynamics in vertically stratified and rotating ocean and to development of asymptotic methods of wave field investigations.

В настоящее время наблюдается рост интереса к математическому моделированию динамики внутренних гравитационных волн (ВГВ) в

неоднородных природных стратифицированных средах, обусловленный проблемами геофизики, океанологии, физики атмосферы, охраны и изучения окружающей среды, эксплуатации сложных гидротехнических сооружений, в том числе морских нефтедобывающих комплексов и рядом других актуальных задач науки и техники. Доклад посвящен изложению фундаментальных проблем математического моделирования динамики ВГВ в океане с учетом вращения Земли.

На распространение ВГВ в океане существенное влияние оказывают неоднородности и нестационарность гидрофизических полей, а также изменение рельефа дна. При этом точные аналитические решения волновых задач получаются только в случае, если распределение плотности воды и форма дна описываются достаточно простыми модельными функциями. Когда характеристики океанической среды произвольны, можно построить только численные решения. Однако последнее не позволяет качественно анализировать характеристики волновых полей, особенно на больших расстояниях, что необходимо для решения, например, проблемы обнаружения ВГВ дистанционными методами, в том числе с помощью средств аэрокосмической радиолокации. В этом случае описание и анализ волновой динамики ВГВ можно осуществить только на основе асимптотических моделей и аналитических методов их решения.

Важным механизмом возбуждения полей ВГВ в океане является их генерация источниками возмущений различной физической природы: природного (движущийся тайфун, обтекание неровностей рельефа океана, подветренные горы) и антропогенного (морские технологические конструкции, схлопывание области турбулентного перемешивания, подводные взрывы) характеров. Одним из основных факторов, определяющим также характеристики возбуждаемых волновых полей, является вращение океана как целого.

Существующие подходы к описанию волновой картины ВГВ в океане с учетом вращения Земли основаны на представлении волновых полей интегралами Фурье и анализе их асимптотики методом стационарной фазы, или на геометрическом построении огибающих волновых фронтов в рамках кинематической теории диспергирующих волн. Как правило, на основе кинематической теории удастся сформулировать аналитическое представление только для фазовых поверхностей и линий. Целью настоящей работы является построение асимптотических решений, описывающих амплитудно-фазовые характеристики дальних полей ВГВ в стратифицированном вращающемся океане.

Поле ВГВ вдали от источника возмущений во вращающемся стратифицированном океане представляет собой сумму отдельных волновых мод. Каждая мода состоит из продольной и поперечной составляющей волны (рис. 1) и заключена внутри соответствующего волнового фронта. При этом с уменьшением частоты вращения стратифицированного океана расстояние между поперечными волнами увеличивается, и в пределе (отсутствие вращения) поперечные волны отсутствуют, а расстояние между продольными волнами остается неизменным. Неравномерная асимптотика каждой моды (вдали от волновых фронтов) строится с использованием метода стационарной фазы. Вблизи волновых фронтов каждое слагаемое, составляющее полное волновое поле, состоит из быстроосциллирующего (тригонометрического) множителя и медленноменяющейся амплитуды (функция Эйри и ее производная). Вдали от волновых фронтов равномерная и неравномерная асимптотики совпадают. Из полученных результатов видно в частности, что учет вращения стратифицированного океана как целого приводит к заметному усложнению как амплитудных, так и фазовых характеристик генерируемых дальних волновых полей ВГВ, а именно к появлению, помимо продольных, также поперечных волновых пакетов, которые могут отсутствовать в средах без вращения (рис. 2).

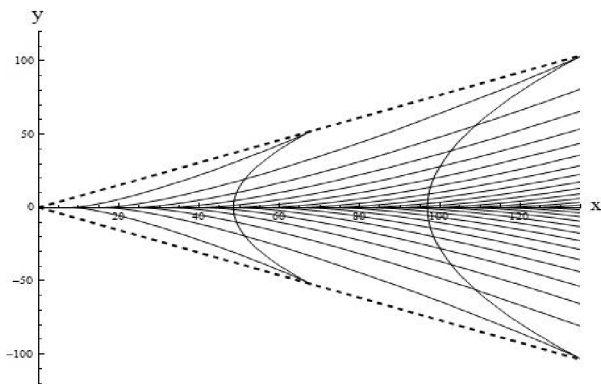


Рис. 1. Фазовая картины поля внутренних гравитационных волн в океане с учетом вращения Земли

Построенные в работе равномерные асимптотические решения позволяют описать амплитудно-фазовые характеристики дальних полей ВГВ во вращающемся в целом стратифицированном океане. Получен-

ные асимптотики дальних полей ВГВ дают возможность не только эффективно рассчитывать основные характеристики волновых полей, но и проводить качественный анализ получаемых решений. Такие волновые картины полей могут наблюдаться при дистанционном зондировании, наблюдении и измерениях ВГВ, возбуждаемых различными источниками возмущений в океане.

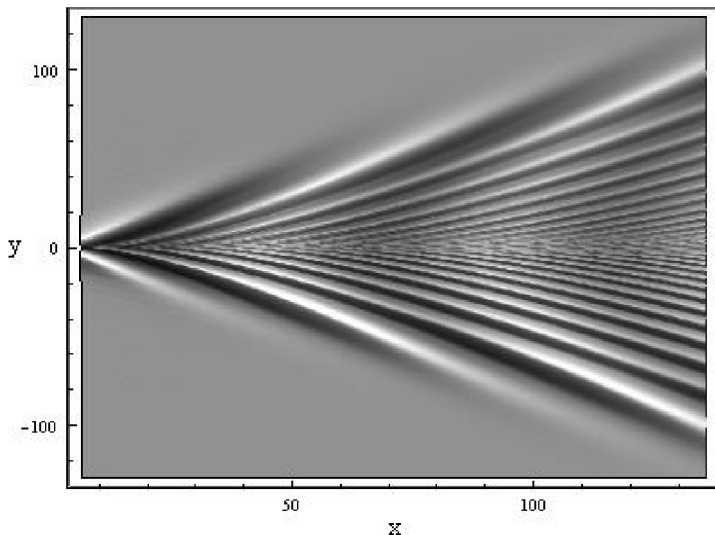


Рис. 2. Поле внутренних гравитационных волн в океане с учетом вращения Земли вдали от источников возмущений

Универсальный характер изложенных в докладе асимптотических методов моделирования ВГВ позволяет эффективно рассчитывать волновые поля, и, кроме того, качественно анализировать полученные решения. Тем самым открываются широкие возможности анализа волновых картин в целом, что важно и для правильной постановки математических моделей волновой динамики и проведения экспресс оценок натурных измерений волновых полей в морской среде

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-01-00466).

ЛИТЕРАТУРА

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Динамика негармонических волновых пакетов в стратифицированных средах. – М.: Наука, 2010. – 470 с.

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Волновая динамика стратифицированных сред: теория и приложения. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 577 с.

Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Wave dynamics of stratified mediums. – М.: Наука, 2012. 584 с.

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Волны в стратифицированных средах. – М.: Наука, 2015. 735 с.

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Дальние поля внутренних гравитационных волн от источника в стратифицированной вращающейся среде // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2016. – №5. – С. 57–63.

УДК 534.222.2; 551.463.2

ЭФФЕКТИВНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕЛКОГО МОРЯ НАСЫЩЕННОГО ПУЗЫРЬКАМИ

Буланов В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН*

Россия, 690041, Владивосток, Балтийская, 43

Тел.: (423)2374913; Факс: (423)2311400, E-mail: bulanov@poi.dvo.ru

It is shown, that effective acoustic characteristics of the sea water saturated by bubbles, show the abnormal characteristics sharply distinguishing them from that, observed in pure sea water.

При развитии волнения (при сильном ветре над поверхностью моря) всегда наблюдается повышенное рассеяние звука, обусловленное газовыми пузырьками, вовлеченными в толщу морской воды динамикой движений в поверхностных волнах. В работе показано, что пузырьки в море существенно влияют на акустические характеристики приповерхностных слоев морской воды.

Функция распределения пузырьков по размерам $g(R)$ может быть найдена по частотной зависимости коэффициента рассеяния звука $m_\nu(\omega)$ в предположении, что основной вклад в рассеяние звука вносят резонансные пузырьки, радиус которых связан с частотой по формуле Миннера $R(\omega) = \sqrt{3\gamma P_0 / \rho} / \omega$ [1–3]:

$$g(R(\omega)) = \frac{2\delta_\omega}{\pi R^3(\omega)} m_V(\omega), R(\omega) = \sqrt{3\gamma P_0 / \rho} / \omega, \quad (1)$$

где δ_ω – коэффициент резонансного затухания на частоте ω , P_0 – гидростатическое давление, $\gamma \approx 1.4$ – постоянная адиабаты газа внутри пузырька. Полученные данные с помощью представленной формулы позволили получить функции распределения пузырьков по размерам. На рис. 1 представлено распределение пузырьков с радиусом 20 мкм в виде величины $N(R)[m^{-3}mkm^{-1}]$, часто используемой в англоязычной литературе, которая связана с $g(R)$ соотношением [1, 2] $N(R)[m^{-3}mkm^{-1}] = 10^2 \cdot g(R)[cm^{-4}]$. Верхний рисунок – изменение во времени концентрации пузырьков N на глубине 0.3 м, рисунок справа – разрез $N(z)$ в момент времени 6:20 час., когда наблюдается максимальное вовлечение пузырьков в толщу моря.

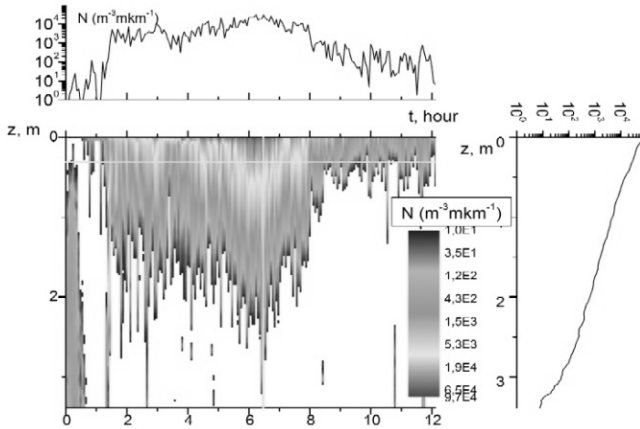


Рис. 1. Изменение структуры приповерхностного пузырькового слоя при прохождении ветра.

Из рис. 1 видно, что с усилением ветра происходит существенное вовлечение пузырьков в толщу моря. Полученные экспериментальные результаты позволили аппроксимировать распределение пузырьков сравнительно простой функцией $g(R)$ вида [4]:

$$g(R) = A_g R^{-n} \exp \left[-n \left(\frac{R_p}{R} - 1 \right) - \frac{R}{R_m} \right]. \quad (2)$$

В формуле (2) показатель степени n и критические размеры R_p (максимум $g(R)$), R_m (спад $g(R)$ при больших R) являются естественными параметрами, которые следуют из теории Фармера-Гаррета в инерционном интервале между размерами R_p , R_m [2], при измерениях $g(R)$ в умеренных состояниях моря оказывается $n \sim 3.5-3.8$. Формулу (2) удобно использовать, чтобы оценить акустические параметры приповерхностных слоев морской воды с пузырьками.

Аномальное поглощение звука в приповерхностных слоях морской воды, насыщенной пузырьками. Известно, что пузырьки являются эффективными поглотителями энергии звуковых волн, распространяющихся в море. Коэффициент поглощения звука α можно считать по формуле:

$$\alpha \approx (\omega/c) \operatorname{Im} \left[1 + \frac{4\pi \rho c^2}{3 \gamma P_0} \int_0^\infty \frac{g(R) dR}{1 - (R/R_\omega)^2 (1 + i\delta_\omega)} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

в которой использованы аппроксимации (2) для $g(R)$. На рис. 2 представлена оценка для распределения коэффициента поглощения звука α от времени на глубине 0.3 м. (вторая сверху кривая). Из рис. 2 видно избыточное поглощение звука в пузырьковом слое, превышающее в 100 раз поглощение звука в чистой воде $\alpha_0 = 0.8 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$. На больших глубинах поглощение звука стремится к значению поглощения звука в чистой воде.

Акустическая нелинейность приповерхностных слоев морской воды. Важным параметром в нелинейной гидроакустике является нелинейный акустический параметр ϵ , который определяет расстояние разрыва в волне конечной амплитуды. В микронеоднородной морской среде параметр ϵ зависит от структуры среды, а также от динамических свойств включений. Величина ϵ определяется в виде [4]

$$\frac{\epsilon_\epsilon}{\epsilon} \approx \frac{1 + \frac{2\pi \beta'^2 (\gamma + 1)}{3 \beta^2 \epsilon} \int_0^\infty dR R^3 g(R)}{\left[1 + \frac{\beta'}{\beta} \int_0^\infty \frac{R^3 g(R) dR}{Q(R)} \right]^2}, \quad Q = 1 - \left(\frac{R}{R_\omega} \right)^2 (1 + i\delta). \quad (4)$$

Результаты по концентрации пузырьков в приповерхностных слоях морской воды позволяют определить дополнительную акустическую нелинейность, привносимую распределенными в воде пузырьками, обладающими высокой нелинейностью. Как видно из рис. 2 в морской воде близи поверхности моря нелинейный параметр ϵ существенно превышает нелинейный параметр в чистой воде, равный 3.5.

Кавитационная прочность приповерхностных слоев морской воды. Вопрос о взаимосвязи кавитационной прочности ΔP_k и нелинейного акустического параметра ε жидкости обсуждался в литературе и была получена зависимость следующего вида [4, 5]:

$$\Delta P_k = \Delta P_{k0} \left[1 + x \frac{\beta'}{\beta \delta} \right] \sqrt{1 + x \frac{(2\varepsilon' - 1)\beta'^2}{\varepsilon \beta^2 \delta^2}}, \quad (5)$$

где x –объемная концентрация пузырьков. Для чистой воды ΔP_{k0} [4] было определено Зельдовичем, $\Delta P_{k0} \approx 1400$ атм, и из (4) следует $\varepsilon \approx 3 \div 5$, что согласуется с значениями для чистой воды. Следует отметить, что при больших концентрациях пузырьков $x > x_{**} = \beta \delta / \beta' \approx 10^{-5}$ кавитационная прочность стремится к минимальному значению $\Delta P_{k,\min} = \Delta P_{k0} [\varepsilon \beta \delta / (2\varepsilon' - 1)\beta'] \approx 10^{-5} \Delta P_{k0}$, при этом $\Delta P_{k,\min} \approx 10^4$ Па.

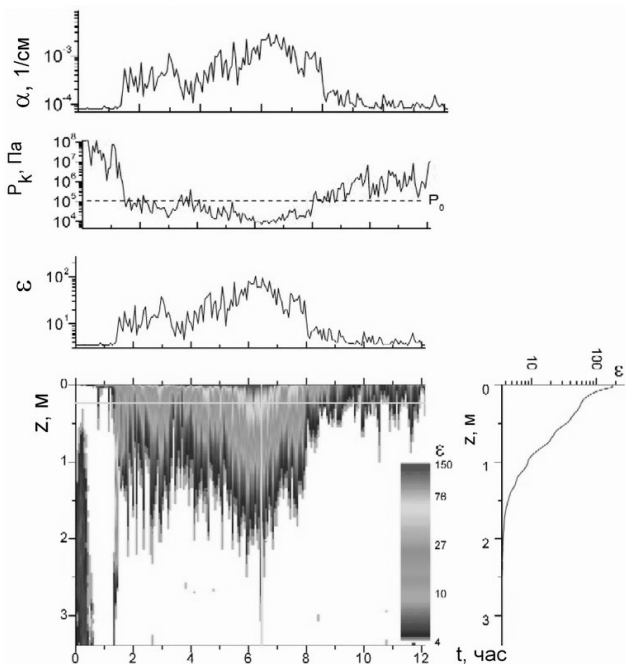


Рис. 2. Изменение во времени распределения по глубине z акустической нелинейности ε в приповерхностном слое моря при резком изменении силы ветра

На рис.2 представлено изменение во времени кавитационной прочности пузырькового слоя на глубине 0.3 м, отмеченной горизонтальной линией на нижнем графике $\epsilon(z, t)$. Видно, что вблизи поверхности моря кавитационная прочность может быть низка и даже ниже величины гидростатического давления. На больших глубинах кавитационная прочность стремится к значению кавитационной прочности в чистой воде.

Рисунки вверху иллюстрируют проявление взаимосвязи акустической нелинейности ϵ , кавитационной прочности P_k и поглощения звука α на глубине z , отмеченной горизонтальной линией на нижнем рисунке.

Работа выполнена при поддержке проекта № 15-I-1-046 программы «Дальний восток» ДВО РАН.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Leighton T.G.** The acoustic bubble. San-Diego: Academic, 1994.
2. **Garrett C., Li M., Farmer D.** The Connection between Bubble Size Spectra and Energy Dissipation Rates in the Upper Ocean // J. Phys. Ocean. 2000. V.30, No9, p. 2163–2171.
3. **Akulichev V.A., Bulanov V.A.** Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. Am. 2011. Vol. 130, No 5, pt. 2, pp. 3438–3449.
4. **Акуличев В.А., Буланов В.А.** Об аномалиях акустических характеристик полидисперсных жидкостей с газовыми и паровыми пузырьками // Доклады Академии наук, 2013. Т. 448. № 2. С.213–217.
5. **Sehgal, C. M.** Non-linear ultrasonics to determine molecular properties of pure liquids // Ultrasonics. 1995. V.33 No2. p.155–161.

ЛИДАРНЫЙ КОМПЛЕКС КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Завьялов А.К.¹, Патраков Ю.М.¹, Матвеевцев А.В.¹,
Ржевский А.А.¹, Беспалов В.Г.², Макаров Е.А.²,
Жевлаков А.П.³**

¹ *Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», Московское шоссе, 44, 196158, г. Санкт-Петербург, +7(812)415-46-07*

krylov@krylov.spb.ru

² *Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), проспект Кронверкской, 49, 197101, г. Санкт-Петербург, +7(812)232-97-04*

od@mail.ifmo.ru

³ *Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Кадетская линия, 5А, 199053, г. Санкт-Петербург, +7(812)233-00-89*
zhevnikov_43@mail.ru

The report describes the spectroscopic lidar system for oceanographic studies. The system allows in remote way to conduct a spectroscopic analysis of the gases, hydrocarbons in the atmosphere and ocean. Laboratory tests showed good results.

До настоящего времени степень разведанности арктического морского шельфа России остается низкой и не превышает 5–6% по жидким углеводородам (УВ) (нефть и конденсат), по газу – примерно 10%. [1, 2]. В настоящий момент ресурсный потенциал Западно-Арктического шельфа России оценивается в 71 млрд т условного топлива (ТУТ), а его разведанная часть не превышает 12%. Извлекаемые запасы акваториальных залежей и прибрежно-морских месторождений УВ (включая месторождения Обской и Тазовской губ) оцениваются, по данным Ю.Н. Новикова (ВНИГРИ), в 9,7 млрд ТУТ [3]. Только Баренцево, Печорское и южная часть Карского моря характеризуются относительно высоким уровнем геолого-геофизической изученностью. На акваториях Баренцева и Печорского морей открыто 12 месторождений нефти и газа: Варандейское прибрежно-шельфовое и Варандей-море, Штокмановское, Ледовое, Лудловское, Мурманское, Долгинское, Приразломное, Медын-

ское-море и Северо-Гуляевское, Поморское и Северо-Кильдинское. Среди перечисленных месторождений – 4 газовых, 2 газоконденсатных, 5 нефтяных и 1 газонефтяное. Остальная обширнейшая часть арктического шельфа России, включая северные районы Карского моря, из-за отдаленности и недоступности характеризуется низким уровнем геолого-геофизической изученности. Существующие представления о геологическом строении и нефтегазовом потенциале этого огромного региона являются достаточно приблизительными, базируются они на знании геологии арктических островов и скромных объемах геофизических работ, в значительной своей части выполненных несколько десятилетий назад методом гравимагнитных измерений. В последнее десятилетие начато изучение сейсморазведочными методами северной части Карского моря, моря Лаптевых, недавно приступили к изучению Восточно-Сибирского моря [4], но геологоразведочные работы (ГРП) идут медленно из-за плохой доступности. Кроме того, за период 2010 – 2012 гг. на ГРП на территориях и акваториях РФ было потрачено бюджетных средств в размере 4,2 млрд руб., что составляет менее 1% от общих затрат. Основной объем затрат на морские ГРП пришелся на Дальневосточные акватории (45,9 млрд руб.). На изучение арктических и южных морей было затрачено 14,3 и 12,5 млрд руб. соответственно, часть средств в размере 1,4 млрд руб. была потрачена на изучение акваторий Балтийского моря. В геологоразведочный процесс не были вовлечены акватории Северо-Восточного региона, слабоизученными остаются арктические акватории.

Представленный краткий анализ освоения и состояния углеводородных ресурсов на морском шельфе России показал острую необходимость внедрения экономичных инновационных методов проведения ГРП с воздушного носителя бесконтактным лазерно-оптическим методом, с оперативным экспресс анализом субаквальных проявлений УВ и их соединений. Эти методы позволят значительно повысить геолого-геофизическую изученность, снизить риски, выйти на более высокий уровень освоения труднодоступных ресурсов морского шельфа с использованием современной технологической базы, разработанного лазерного спектроскопического комплекса (ЛСК). В ЛСК, разработанном в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» с участием ОАО ГОИ им. С.И. Вавилова, Университета ИТМО, ФГУП «ВНИГРИ» в рамках Федеральной целевой программы, применен метод дистанционного спектроскопического анализа для поиска и обнаружения ореолов рассеяния, образующихся над залежами УВ. Метод позволяет с большой степенью вероятности обнаруживать многочисленные УВ, содер-

жащиеся в нефти, и их соединения. Созданный ЛСК обладает спектральной селективностью различных УВ и высокой скоростью их детектирования, бесконтактностью, возможностью непрерывного площадного и профильного сканирования местности с воздушного, корабельного и подводного базирования с одновременным выделением зон УВ по концентрации индикаторных химических элементов и соединений. Метод основан на физическом явлении комбинационного рассеяния, когда падающий фотон обменивается энергией с молекулами углеводородов и рассеивается на более низком энергетическом уровне. Наблюдаемый сдвиг частоты рассеянного излучения соответствует изменению колебательной энергии молекулы исследуемого углеводорода и не зависит от частоты возбуждающего излучения. Источником излучения для ЛСК служит вторая гармоника излучения твердотельного импульсного лазера. Энергия лазерного импульса на длине волны 532 нм достигает 45 мДж при частоте следования импульсов 1 Гц. Диаметр лазерного пучка на выходе лазера составляет $3,7 \times 2,9$ мм, а расходимость 3 мрад. Лазерное излучение направляется через иллюминатор. Рассеянное в атмосфере или гидросфере излучение собирается оптической системой с асферическим зеркалом и направляется на спектрофотометр. Спектр комбинационного рассеяния (КР) является индивидуальной оптической характеристикой каждой молекулы исследуемого вещества. Благодаря этому спектр КР может служить надежным идентификационным признаком рассеивающих молекул. Имеется возможность в спектре установить некоторые групповые признаки, характерные для класса соединений. Для качественного и количественного анализа необходимо знание спектров индивидуальных соединений и частот внутримолекулярных колебаний, которым соответствуют определенные линии КР. При исследовании спектров КР ограничиваются измерением частоты линии КР. Т. о., в водной среде можно идентифицировать УВ и соединения.

Разработка новых высокотехнологических дистанционных лазерно-оптических методов, а на их основе и аппаратуры морской геологической разведки и контроля экологической безопасности позволит решить многие задачи поиска, геоэкологического контроля естественных нефтегазопроявлений. В настоящее время, используя опыт создания ЛСК, идет работа по созданию трехканальной модели универсального спектроскопического комплекса «Сканер-М» для обнаружения углеводородов воздушного носителя. Оценки показали, что существует возможность обеспечить высокую эффективность проведения поисковых работ за счет дополнительных оптико-электронного и тепловизионного кана-

лов. Оптико-электронный канал обеспечит картирование местности с пространственной локализацией ореолов залегания УВ. Тепловизионный канал позволит установить температурные аномалии, сопутствующие углеводородам.

Для реализации программы создания трехканальной усовершенствованной модели универсального спектроскопического комплекса «Сканер-М» разработана Дорожная карта создания и внедрения «Сканер-М». Она включает 3 этапа: Выполнение НИОКР, Производство, Внедрение и эксплуатацию, выполнение которых запланировано на 2017 – 2040 гг. Потребителями ЛСК могут быть российские и мировые геологоразведочные и добычные компании, работающие в море и особенно на шельфе. Первоначальная потребность России в данной аппаратуре оценивается в 1000 штук. В дальнейшем, по мере внедрения ЛСК-М, могут быть привлечены такие организации как: ВНИИОкеангеологии; Институт океанологии им. П.П. Ширшова, РАН; НПП «Геотехника»; НИУ ИТМО; ОАО ГОИ; МГУ; ВНИГРИ; ОАО «ЦНПО «Ленинец», ОАО; «Экспериментальный завод»; ОАО «Газпром»; ОАО «Лукойл»; ОАО «Роснефть».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Сенин Б.В., Афанасенко А.П., Леончик Н.И., Пешкова И.Н.** Проблемы воспроизводства и количественной оценки углеводородных ресурсов морских нефтегазоносных провинций России // Геология нефти и газа. 2012. № 5. – С. 88-98.

2. Государственный доклад "О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2010 году". – М.: Минприроды России (Центр "Минерал", ФГУНПП "Аэрогеология"), 2011.

3. **Новиков Ю.Н.** Некоторые проблемы изучения и освоения углеводородного потенциала морской периферии России // Электронный журнал "Нефтегазовая геология. Теория и практика" 2012. – Т.7. – №4. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/5/68_2012.pdf.

4. **Каминский В.Д., Супруненко О.И. Андреев С.И.** и др. Перспективы развития МСБ России на континентальном шельфе и в международном районе мирового океана // Разведка и охрана недр. 2012. № 9. – С. 99–105.

НАБЛЮДЕНИЯ ВТВ ИЗ КОСМОСА

Скляр В.Е.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)129-19-54,
vsklyarov@bk.ru*

The example of detection and research of Meddy in the Atlantic Ocean by traditional hydrological methods in combination with observations from space is given. It is shown that the determination of the trajectory of Meddy movement by using satellite altimetry data is also possible.

Теплые и солёные средиземноморские воды являются источником образования в Атлантике внутритермоклинных (ВТВ) вихрей. В последние годы с повышенным интересом обсуждается возможность обнаружения и мониторинга из космоса по данным спутниковой альтиметрии глубоководных внутритермоклинных вихрей (ВТВ) средиземноморского происхождения [1-3]. Такие вихри образуются на континентальном склоне Кадисского залива, характеризуются высокими значениями температуры и солёности по отношению к окружающим водам и представляют собой долгоживущие (до 8 лет) гидродинамические образования с характерными горизонтальными и вертикальными масштабами порядка 80–100 км и несколько сотен метров соответственно. ВТВ переносят большое количество тепла и соли и поэтому имеют весомое влияние на климатические характеристики океана.

В предыдущих работах автора [1,3] была рассмотрена возможность не только обнаружения, но и слежения за ВТВ на основе альтиметрических данных. В них был проведён анализ информации для обнаруженного традиционными методами в районе Канарской котловины [4] антициклонического вихря. Этот вихрь был обнаружен с судна и исследован в июле 1993 г. в районе с координатами центра 36 с.ш., 28. з.д. Отличительной особенностью этого ВТВ являлось наличие двойного максимума для температуры и солёности, которые составляли 13.2 С и 36.5 psu на глубине 850 м и 12.3 С и 36.5 psu на глубине 1250 м. В работе [3], в частности, на основании только альтиметрических данных была прослежена интегральная (с шагом 1 месяц) траектория движения этого

вихря за период с середины октября 1992 г. по май 1994 г. За это время наблюдаемый вихрь переместился в юго-западном направлении на расстояние около 1100 км (рис. 1).

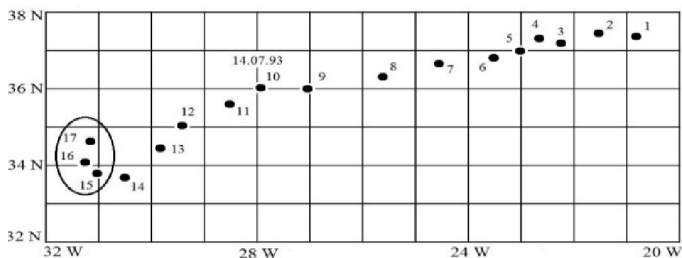


Рис. 1. Траектория перемещения ВТВ с середины октября 1992 г. (точка 1) по май 1994 г. Точка 10 соответствует времени проведения судовых работ (июль 1993 г.)

Далее на основе данных спутниковой альтиметрии мы исследовали особенности эволюции этого вихря в районе подводной горы Атлантис, находящейся на расстоянии около 500 км юго-западнее Азорского архипелага. Вершина горы расположена на глубине 250 м ниже уровня моря и находится в координатах 34°07' с. ш., 30° 14' з. д. В середине октября 1993 г. наблюдаемый ВТВ подошёл к северо-восточному склону г. Атлантис. Из альтиметрических данных от 13.10.1993 г. было видно, что в это время на юго-западном склоне Атлантис уже находился другой антициклонический вихрь. Этот вихрь блокировал дальнейшее продвижение наблюдаемого ВТВ на юго-запад, в результате чего в период с 20.10.1993 по 03.11.1993 г. произошло разделение первоначально наблюдавшегося вихря на две антициклонические составляющие. Этот процесс разделения занял около двух недель. За это время центры вновь образовавшихся антициклонических вихрей удалились друг от друга на расстояние около 180 км в направлении северо-восток – юго-запад. При этом при своем перемещении на юго-запад вновь образовавшийся вихрь начал интенсивно взаимодействовать с другими вихревыми образованиями. Тем не менее, в целом, нам удалось детально проследить за перемещением этого ВТВ по данным спутниковой альтиметрии в течение 17 месяцев (с середины октября 1992 г. по май 1994 г.).

Интересны вопросы воздействия глубинных вихрей на уровенную поверхность океана. С этой целью рассмотрим сейсмоакустический разрез одного из ВТВ в районе Кадисского залива (рис.2).

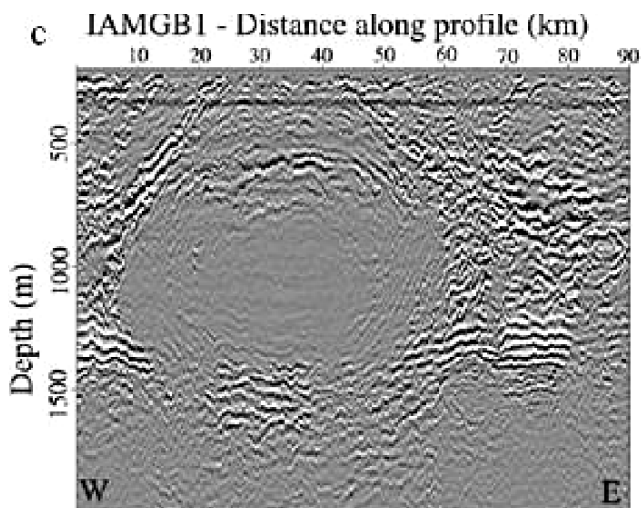


Рис. 2. Сейсмоакустический разрез ВТВ [5].

Характер изолиний разреза дает основание предположить о выраженном влиянии вихря на верхний слой океана и его поверхность.

Результаты настоящей работы показывают, что детальное слежение за эволюцией ВТВ из космоса возможно. Они также подтверждают ранее сделанный авторами вывод о том, что в настоящее время методы спутниковой альтиметрии являются одними из наиболее перспективных для решения этой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Березуцкий А.В.**, Дистанционные методы обнаружения внутри-термоклинных вихрей в океане/ Скляров В.Е. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, – 2010. – Т.7. №1. С. 228–237.

2. **Carton X.**, Meddy dynamics and interaction with neighboring eddies southwest of Portugal: observations and modeling/ Daniault n., Alves J., Cherubin L., and Ambar I. // J. Geophys. Res., 2010. Vol.115. C06017. doi:10.1029/2009JC005646.

3. **Скляров В.Е.** Дистанционные методы обнаружения глубоководных вихрей в океане.// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. №2. С. 287–291.

4. **Tychensky A X.** Hydrological and dynamical characterization of meddies in the Azores region: A paradigm for baroclinic vortex dynamics/ Carton X. // J. Geophys. Res., 1998. 103. (C11). 25061–25079.

5. **Bioscas B.** Imaging meddy finestructure using multichannel seismic reflection data /. *Sallares V., et al.* // Geophysical Research letter, 2008. Vol. 35. L1160. doi:10.1029/2008GL033971.

УДК 551.463

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ В АБИССАЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Фрей Д.И., Морозов Е.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва
Нухимовский пр. 36,
8-499-1291945, dima.frey@gmail.com*

The bottom layer in the ocean is occupied by Antarctic Bottom Water. The flow accelerates in narrow fractures of the ridges. The thermohaline and dynamic structure of bottom currents is studied using the CTD and LADCP profilers

Придонный слой Мирового океана занимают наиболее холодные и плотные воды антарктического происхождения. Образовываясь на шельфе антарктического континента в осенне-зимний период, более плотная вода распространяется на север под действием силы тяжести [1]. При этом скорость этого распространения крайне мала внутри океанских котловин и недоступна для прямого измерения. Однако в узких каналах и разломах подводных хребтов, разделяющих эти котловины, поток резко сужается и ускоряется. Измерение придонных течений в подобных абиссальных каналах позволяет установить характер водообмена антарктических вод между отдельными котловинами и установить общую динамику вод придонного слоя океана [2].

Термохалинная и динамическая структура придонных течений исследуется с помощью CTD и LADCP зондов [3], смонтированных на едином комплексе вместе с дополнительным оборудованием для контроля положения приборов относительно дна. Методика проведения измерений и обработки экспериментальных данных подробно представ-

лена на примере нескольких станций, выполненных в разломе Вима Срединно-Атлантического хребта. Для учета горизонтального движения измерительного комплекса при обработке данных акустического измерителя течений используется линейный обратный метод расчета профилей скорости. Данные течений также корректируются по спутниковым альтиметрическим данным с учетом приливных скоростей, рассчитанных по модели ТРХО Орегонского университета. Известные скорости и геометрия канала позволяют рассчитывать потоки донных вод между глубокowodными котловинами Северной Атлантики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Orsi A.H., Johnsson G.C., Bullister J.L. // Prog. Oceanogr. 1999. V. 43. P. 55–109.
2. Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows. Dordrecht: Springer, 2010. 266 p.
3. Левашов Д.И. Техника экспедиционных исследований. М.: Издательство ВНИРО, 2003. 399 с.

УДК 551.468

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПОЛЕ ПЛОТНОСТИ У ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРЬЯ В ЯПОНСКОМ МОРЕ (ПО ДАННЫМ ПРОФИЛОГРОФА АКВАЛОГ)

Трусенкова О.О.¹, Лазарюк А.Ю.¹, Островский А.Г.²,
Лобанов В.Б.¹, Ладыченко С.Ю.¹, Каплуненко Д.Д.¹

¹ Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская, 43, 690041,
г. Владивосток, 8(423)231-14-00, troia@poi.dvo.ru

² Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01

Using measurements of the autonomous Aqualog profiler installed at the continental slope off the Primorye coast (42.53° N, 133.80° E) in the Japan Sea from April 18 through October 15, 2015, oscillations with periods of 2-3.5 and 5-10 were detected in the 27.15 kg/m³ isopycnal depth. The regular oscillations with pe-

riods of about half of the month imply propagation of coastal waves or tidal effects.

В Японском море на динамику Приморского течения, следующего на юго-запад вдоль побережья Приморья, оказывают влияние различные моды шельфовых волн (см., например, [1]). Неустойчивость этих волн может приводить к образованию вихрей синоптического и меньшего масштаба, перемещающихся вдоль континентального склона, которые неоднократно наблюдались как на спутниковых инфракрасных изображениях поверхности Японского моря, так и по данным судовых наблюдений и плавучих буев (например, [2–4]). Динамика вод этого района осложняется подходом с востока трансформированных вод Цусимского течения [5]. Вихреобразование сопровождается интенсивными вертикальными движениями, что приводит к смещению изопикнических поверхностей, которое сложно зарегистрировать по данным судовых наблюдений.

В зоне Приморского течения (на 42.53° с.ш., 133.80° в.д.) был установлен автономный профилограф Аквалог [6], осуществлявший с 18 апреля по 15 октября 2015 г. вертикальное сканирование слоя между горизонтами 64 и 260 м четыре раза в сутки с измерением температуры и солёности, а также других параметров среды. Структура вод в этом районе субарктическая, а слой 64–260 м, с аномалиями плотности в пределах $26.9\text{--}27.3$ кг/м³, находится под сезонным пикноклином или в его нижней части, поскольку толщина верхнего квазиоднородного слоя составляет здесь около 10 м в мае – августе и не превышает 30–40 м в апреле, сентябре и октябре [7, 8]. Рассчитана глубина залегания изопикнической поверхности 27.15 кг/м³, которая находится в пределах слоя 64–260 м в течение всего периода измерений. Этому временному ряду свойственна значительная изменчивость: при средней глубине залегания 139.6 м среднеквадратическое отклонение (СКО) равно 31.3 м, присутствуют разномасштабные колебания.

В апреле – мае 2015 г. наблюдались особенно интенсивные колебания изопикнического слоя 27.15 кг/м³, период которых составляет около месяца. В это время средняя глубина слоя равнялась 145.4 м, СКО – 46.9 м, а размах колебаний достигал $90\text{--}125$ м, причем 18 апреля – 1 мая и 16 мая – 29 мая слой залегал ниже своего среднего положения, а 2–15 мая – выше (рис. 1).

В июне – октябре 2015 г. изменчивость несколько ослабла: СКО уменьшилось до 24.4 м (при средней глубине слоя – 137.2 м), а периоды колебаний уменьшились. Для анализа этих колебаний временной ряд

аномалий глубины был разложен, на основе преобразования Хуанга, на т.н. собственные функции (Intrinsic Mode Functions – IMFs), описывающие колебания, симметричные относительно среднего (нуля), частота которых уменьшается с ростом номера моды [9]. Это позволило рассчитать, на основе преобразования Гильберта, мгновенные частоты колебаний (периоды колебаний на рис. 2 показаны, когда они неотрицательны и не претерпевают значительных скачков).



Рис. 1. Сглаженные нормированные аномалии глубины залегания изопикнической поверхности 27.15 кг/м³

IMF 1 описывает наиболее высокочастотные колебания, вероятно, связанные с ошибками данных. IMF 2 соответствуют колебания с периодами 2–3.5 сут., наиболее интенсивные с 30 мая по 29 июня, когда их размах составлял 50–70 м, а 20 – 22 июня даже превышал 150 м. IMF 3 описывает колебания с периодами 5–10 сут., которые наиболее интенсивны до 14 сентября, когда размах колебаний составлял ~ 25 м, достигая 70–100 м в периоды 30 мая – 30 июня и 20 июля – 10 августа.

Колебания, связанные с IMF 4, наблюдались в июле – октябре, их период составлял около полумесяца, но в начале июля и конце октября достигал 1 мес. (рис. 2). Их размах, незначительно изменявшийся во времени, составлял 25–30 м. IMF 5 и остаточный член совместно описывают тенденции углубления изопикнического слоя 27.15 кг/м³ на ~ 50 м с июня до второй половины августа и поднятия на ~ 30 м за следующий месяц, после чего заметных низкочастотных тенденций не наблюдалось.

Колебания с периодами 2–3.5 сут. лежат в диапазоне естественного синоптического периода атмосферы, причем в дальневосточном регионе длительность процессов составляет 3-5 сут. [10], однако взаимосвязи с ветром в месте установки Аквалога не выявлено. Периоды 5–10 сут. соответствуют времени жизни мезомасштабных и синоптических вихрей в этом районе [4]. Относительное постоянство амплитуды колеба-

ний, описываемых IMF 4, позволяет предположить, что они связаны с прохождением волновых образований над континентальным склоном в районе установки Аквалога или с приливами.

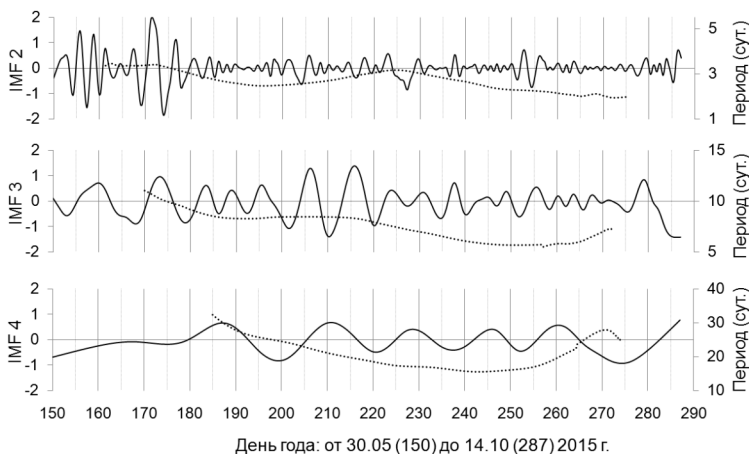


Рис. 2. Модовые функции 2–4 (IMF 2–4; сплошные линии) и периоды их колебаний (дни, пунктир), полученные по временному ряду нормированных аномалий глубины залегания изопикнической поверхности 27.15 кг/м^3

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00899 и гранта № 15-I-1-047 программы приоритетных исследований ДВО РАН «Дальний Восток».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Tsujino H., Nakano H., Motoi T.** Mechanism of currents through the straits of the Japan Sea: mean state and seasonal variation // *J. Oceanogr.* – 2008. – V. 64. – N 1. – P. 141–161.
2. **Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Островский А.Г.** Поверхностная циркуляция Японского моря (спутниковая информация и данные дрейфующих буйев) // *Исследование Земли из космоса.* – 1998. – № 1. – С. 66–83.
3. **Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А. и др.** Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2011. – Т.8. – № 2. – С.100–104.

4. **Ладыченко С. Ю., Лобанов В. Б.** Синоптические вихри в районе залива Петра Великого по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. – 2013. – № 4. – С. 3–15.

5. **Danchenkov M.A., Lobanov V.B., Riser S.C., et al.** A history of physical oceanographic research in the Japan/East Sea // Oceanogr. – 2006. – V.19. – N 3. – P. 18–31.

6. **Островский, А.Г., Зацепин А.Г., Соловьёв В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. – 2013. – Т. 53. – № 2. – С. 259–268.

7. **Зуенко Ю.И.** Элементы структуры вод северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. – 1998. – Т. 123. – С. 262–290.

8. **Khrapchenkov F.F., Dmitrieva E.V.** The analysis of the seasonal variability upper mixed layer depth of Far East Seas // The 17 International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, February 2002, Mombetsu, Hokkaido, Japan : Abstracts. – Mombetsu, 2002. – P.428–431.

9. **Huang N.E., Wu Z.** A review on Hilbert-Huang transform: Method and its applications to geophysical studies // Rev. Geophys. – 2008. – V. 46. – N 2. – doi:10.1029/2007RG000228.

10. **Дашко Н.А., Варламов С.М.** Метеорология и климат // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / ред. Васильев А.С., Терзиев Ф.С., Косарев А.Н. – СПб: Гидрометеоздат, 2003а. – С. 19–103.

УДК 532.59

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ, СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМИСЯ БАРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Шульга Т.Я.

*ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь,
+7 8692 54 52 41, shulgaty@mail.ru*

The effect of inhomogeneous moving atmospheric pressure fields is studied by the method of mathematical modeling. The hy-

pothesis about the role of a resonance mechanism in the occurrence of extremely high amplitudes of surge and seiche oscillations generated by moving baric fields is tested.

Важную роль в формировании экстремальных уровней и гидрологических процессов в прибрежной области Азовского моря имеют сгонно-нагонные, сейшевые и сейшеобразные колебания, представляющие собой волновые движения с периодами от нескольких часов до нескольких суток [1]. При этом структура продольных собственных колебаний такова, что их вершины приходятся на районы, расположенные вблизи крупных населенных пунктов [1, 2]. Частой причиной сейшеобразных колебаний в природных бассейнах является резкое изменение атмосферного давления. Сейши со значительной амплитудой возникают при явлении резонанса, когда период собственных колебаний бассейна совпадает с периодом вынуждающей силы. При этом относительно малые перепады давления на краях водоема и соответствующие им малые разности уровней вызывают значительные сейши [3].

В данной работе на основании анализа результатов численного моделирования с использованием модели POM [4] исследовано развитие течений, сгонно-нагонных и сейшеобразных колебаний уровня Азовского моря в поле возмущений атмосферного давления. Проверена гипотеза о роли резонансного механизма в возникновении экстремально высоких амплитуд сгонно-нагонных колебаний и сейш, генерируемых перемещающимся над морем барическим полем со скоростью, равной скорости свободной длинной волны [3].

В вычислительных экспериментах воспроизведены сценарии прохождения сезонных атмосферных фронтов над Азовским морем. Движение границы раздела областей давлений совершается по одной из заданных траектории: меридиональной (рис. 1, *а*), зональной (рис. 1, *б*, *з*), диагональной (рис. 1, *в*). Барический градиент, ширина фронтальной зоны, а также их значения в областях повышенного и пониженного давлений принимаются на основе анализа справочных гидрометеорологических данных [1].

Скорость и время движения барического поля выбраны с учетом предположения о генерации волн с максимальными амплитудами. Это возможно, когда период вынуждающей силы приближается к периоду собственных колебаний бассейна, и также при скорости барического фронта близкой к \sqrt{gH} [3]. Расположение старшей моды доминирующих продольных собственных колебаний уровня Азовского моря с пе-

риодом 24 ч таково, что одна ее вершина находится в Таганрогском заливе, а противоположная – вблизи Генчического.

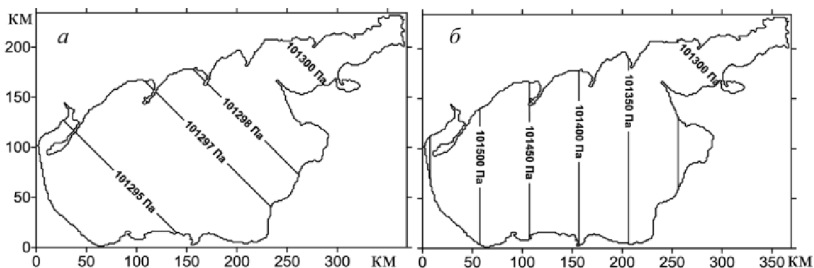


Рис. 1. Траектории перемещений границ областей переменного атмосферного давления в направлении Генчическ – Перебойный: *а* – прямая под наклоном 135° к оси *x*; *б* – прямая под наклоном 90° к оси *x*

В каждом численном эксперименте развитие фронта происходит в поле фоновых стационарных течений, начало его движения соответствует времени установления движения жидкости 48 ч [5]. Установившиеся движения в Азовском море вызваны действием однородного по времени и пространству юго-западного ветра со скоростью 10 м/с. На этом этапе атмосферное давление постоянно по всей акватории моря, его значение равно стандартному атмосферному давлению. Следующий этап соответствует прохождению по акватории моря полей переменного атмосферного давления. Области постоянного и переменного атмосферного давления разнесены по обе стороны от линии фронта, положение которой зависит от текущих координат и времени. Период действия атмосферных возмущений выбран кратным периоду старшей моды свободных колебаний уровня моря. Скорость движения границы области переменного давления равна скорости свободной длинной волны, зависящей от глубины моря.

На рис. 2 представлены результаты моделирования прохождения барического возмущения над Азовским морем на восток в поле стационарного ветра. При этом перемещение границы атмосферных полей происходит со скоростью свободной длинной волны 9,4 м/с, соответствующей глубине моря 9 м, время прохождения равно полупериоду свободных колебаний 12 ч.

В момент прекращения действия ветра (рис. 2, *а*) динамика вод определяется узловой линией, проходящей через центр бассейна, и максимумом амплитуды в западной и восточной частях бассейна. При даль-

нейшем развитии процесса свободных колебаний возрастает генерация вихревых возмущений, узловая линия асимметрично вращается против часовой стрелки, занимая продольное (рис. 2, б) и диагональное (рис. 2, в) положение. Свободные колебания через 11 ч после прекращения действия ветра (рис. 2, з) представляют собой двухузловую сейшу с центральной узловой линией, повторяющей ее конфигурацию в начальный период времени (рис. 2, а). Две более короткие узловые линии симметричны, они являются полуокружностями, диаметры которых располагаются перпендикулярно направлению атмосферного фронта.

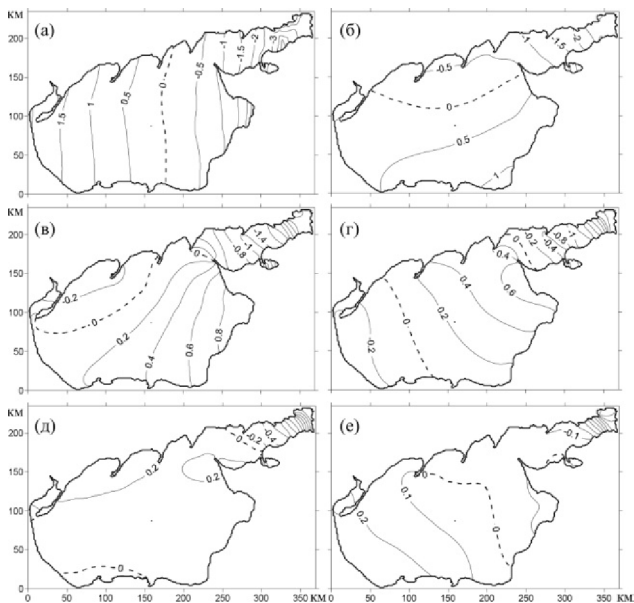


Рис. 2. Изолинии уровня (м) Азовского моря при установившемся движении (а), в момент прекращения действия ветра (б), через 3 ч (в), через 6 ч (г), через 9 ч (д), через 12 ч (е)

На основе анализа результатов численного моделирования установлено, что возмущения, движущиеся со скоростью, близкой к скорости свободной длиной волны, вызывают генерацию волн с большими амплитудами, чем при том же ветре и постоянном атмосферном давлении. Их наибольшие значения достигаются при скорости перемещения границы барических возмущений 9,4 м/с.

Перемещающиеся барические поля за время, равное полупериоду собственных колебаний бассейна, вызывают вынужденные, а затем свободные колебания с амплитудами, отличающимися не более чем на 14% от полученных при постоянном значении атмосферного давления и одном и том же ветре. Возмущению атмосферного давления принадлежит важная, но не решающая роль при формировании структуры течений и колебаний уровня Азовского моря.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том III. Азовское море. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 218 с.
2. **Матишов Г.Г.** Численные исследования сейшеобразных колебаний уровня Азовского моря / Г.Г. Матишов, Ю.И. Инжебейкин // Океанология. – 2009. – 49, № 4. – С. 485 – 493.
3. **Лабзовский Н.А.** Непериодические колебания уровня моря. / Н.А. Лабзовский. – СПб.: Гидрометеиздат, 1971. – 238 с.
4. **Blumberg, A. F.** A description of three dimensional coastal ocean circulation model in Three-Dimensional Coast Ocean Models / A. F. Blumberg, G. L. Mellor // Coast. Estuar. Sci. – 1987. – 4. – P. 1 – 16.
5. **Иванов В. А.** Динамические процессы и их влияние на распространение и трансформацию загрязняющих веществ в ограниченных морских бассейнах / В.А. Иванов, Л.В. Черкесов, Т.Я. Шульга. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 178 с.

УДК 551.465

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Дымова О.А., Демьшев С.Г.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская 2, 299011, г. Севастополь, 8(8692)54-52-41,
olgadyum@yahoo.com*

The results of the analysis of the kinetic and potential energy budget components in the Black Sea south-eastern part are presented. The energy variability was determined by advective transport. Amplification of the advective forces work in the spring-

summer period caused the intensification of the Batumi anticyclone.

Юго-восточная часть Черного моря характеризуется изрезанностью береговой черты и узкой шельфовой зоной. Располагающийся в этой области Батумский антициклон (БА) является крупным и регулярно формирующимся вихрем в Черном море. Современные спутниковые наблюдения фиксируют существование по периферии БА вихрей различного знака с размерами порядка 10 км [0]. Эти объекты могут влиять на взаимодействие БА и Основного черноморского течения (ОЧТ). Возможности спутниковой альтиметрии не позволяют исследовать непрерывную по времени изменчивость таких структур, вследствие малых размеров и короткого времени жизни. Поэтому для изучения особенностей циркуляции на мезо- и субмезомасштабах применяют вихреразрешающие модели [0, 0]. В [0, 0] в результате численных экспериментов в области БА были реконструированы интенсивные вихри, соответствующие данным наблюдений. В настоящей работе на основе анализа энергетических потоков, характеризующих перераспределение кинетической (КЭ) и потенциальной энергий (ПЭ), предпринята попытка выявить механизмы их формирования.

Задача решалась с помощью модели МГИ [0], дополненной блоком расчета компонентов бюджета КЭ и ПЭ. Изменение со временем КЭ определялось работой силы давления, адвекцией КЭ, работой силы плавучести и работой силы ветра; потери КЭ происходили за счет горизонтального и вертикального трения. ПЭ изменялась вследствие работы адвективных сил, горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузии. Обмен между КЭ и ПЭ происходил за счет работы силы плавучести, которая изменяет часть ПЭ – доступную потенциальную энергию (ДПЭ). Численные эксперименты выполнены с горизонтальным разрешением 1,6 км, что меньше бароклинного радиуса деформации Россби (~ 8 км в прибрежных зонах Черного моря). Вертикальные турбулентные процессы параметризованы на основе теории Меллора-Ямады 2.5. Граничные условия взяты в соответствии с данными реанализа *ALADIN* для 2006 г. В результате численных экспериментов рассчитаны ежесуточные трехмерные поля температуры, солености, скоростей течений, компоненты бюджета кинетической и потенциальной энергий. Верификация гидрофизических характеристик была выполнена по данным спутниковых и контактных наблюдений. В работе рассматривалась пространственно-временная изменчивость проинтегрированных по глубине и осредненных за год и по сезонам энергетических полей.

При анализе среднегодовых значений энергетических характеристик для 2006 г. получено, что наиболее значимыми компонентами энергии в районе БА являлись работа силы давления и работа силы плавучести. Интервал изменчивости этих величин составил от -20 до 20 эрг/см², что, однако, в 2,5 раза меньше максимальных по модулю значений для всего моря. Вклад от ветра в КЭ в 2006 г. был в 2,5 раза меньше этих компонентов и достигал 8 эрг/см². Максимальные потери КЭ вследствие горизонтального трения составили 4 эрг/см². В 2006 г. адвекция ПЭ была преимущественно положительна на среднегодовом масштабе и достигала 30 эрг/см². Вертикальная турбулентная диффузия в зоне БА увеличивала ПЭ за счет потоков тепла и соли через поверхность.

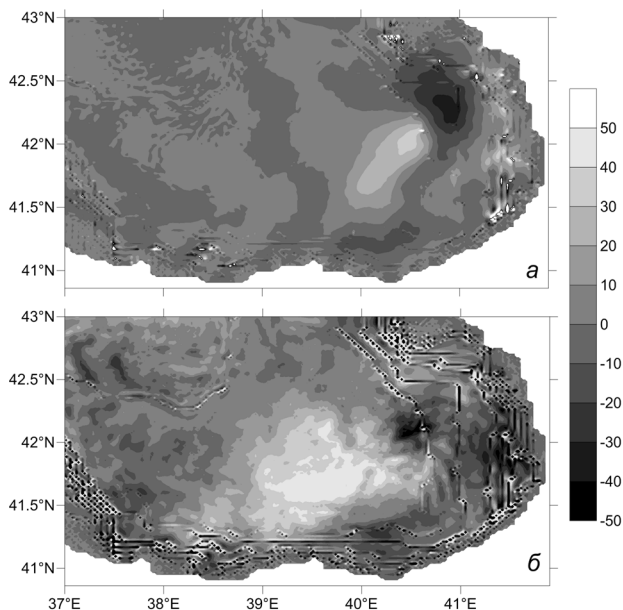


Рис. 1. Осредненные за весну 2006 г. адвективные потоки (эрг/см²): *a* – работа сил давления, *б* – адвекция ПЭ

Юго-восточная часть характеризовалась значительной пространственно-временной неоднородностью компонентов бюджета КЭ и ПЭ в теплые сезоны года. С весны 2006 г. в районе БА формировались взаимно компенсационные области работы силы давления, в прибрежных зонах работа силы давления увеличивалась (рис. 1*a*). Адвекция ПЭ вно-

сила главный вклад в бюджет ПЭ (рис. 1б), превышающий на два порядка остальные компоненты. В области соприкосновения антициклона с ОЧТ наблюдались наибольшие скорости течений (до 55 см/с), и возрастали горизонтальные градиенты скорости, что привело к усилению влияния адвективных слагаемых. Летом ОЧТ ослабевает и в результате работы сил адвекции БА интенсифицировался.

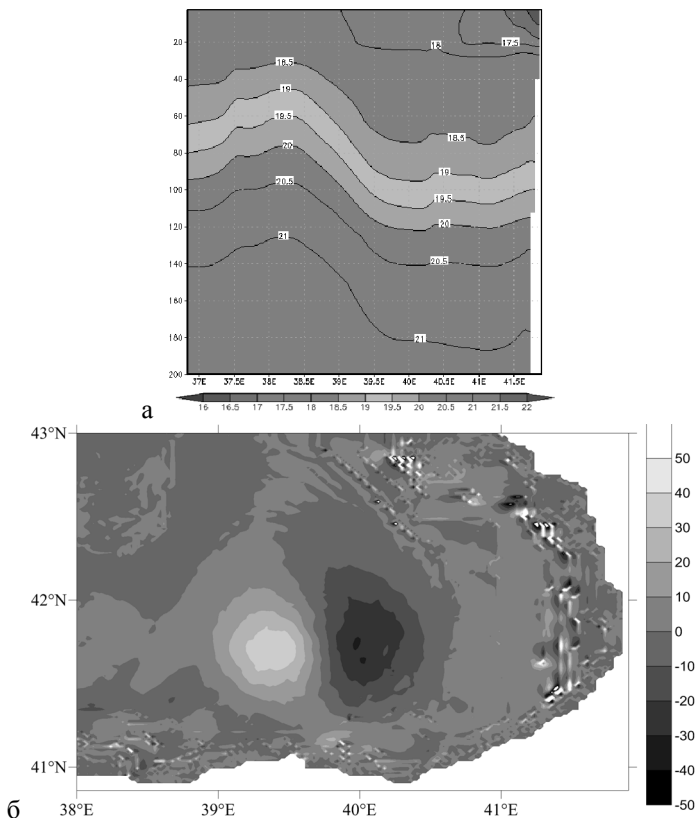


Рис. 2. Осредненные за лето 2006 г.: а – поле солёности (‰) на разрезе 41,75° с.ш., б – работа силы плавучести (эрг/см²)

В среднем за весну и лето в области БА наблюдался рост величины работы силы плавучести, превышающий в 1,5 – 2 раза зимние значения. На юго-востоке в весенне-летний период за счет увеличения отклонения

изопикнических поверхностей от невозмущенного уровня возрастал запас ДПЭ, что свидетельствует об усилении процессов бароклинной неустойчивости. Из рис. 2 видно, что в среднем за лето западнее 39,5° в.д. наблюдались подъем изохалин (рис. 2а) и область максимальных значений работы силы плавучести (рис. 2б). В осенний сезон в результате уменьшения работы силы адвекции БА ослабевал. Охлаждение вод и увеличение толщины верхнего квазиоднородного слоя привели к росту ПЭ, однако запас ДПЭ уменьшался.

Во все сезоны в прибрежных зонах юго-восточной части моря фиксировались области наиболее интенсивной горизонтальной диссипации КЭ. При этом в поле скорости наблюдались многочисленные вихри различных размеров и знака завихренности. Квазипериодическое формирование вихрей и дальнейшая их эволюция существенно влияла на структуру БА, что подтверждается спутниковыми данными.

В результате проведенного исследования получено, что в районе БА на среднегодовом и сезонном масштабах в 2006 г. наиболее энергетически значимыми компонентами бюджета кинетической и потенциальной энергии были работа сил давления и адвекция потенциальной энергии. При этом увеличение работы этих сил в теплый период года приводило к интенсификации БА. В прибрежных зонах области интенсивной работы сил трения соответствовали расположению мезо- и субмезомасштабных вихрей.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФАНО России № 0827-2014-0011 (шифр «Оперативная океанография») при частичной поддержке РФФИ (проект № 15-05-05423 А).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кубряков А.А.** Динамика Батумского антициклона по спутниковым данным / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – №2. – С. 67–77.
2. **Kordzadze, A.A.** Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP / A.A. Kordzadze, D.I. Demetrashvili // Ocean Sci. – 2011. – V.7. – P. 793–803.
3. **Demyshev, S.G.** Prognostic numerical analysis of currents in the Black Sea with high horizontal resolution / S.G. Demyshev // Physical Oceanography. – 2011. – V.21. №1. – P. 33–44.
4. **Демьшев, С.Г.** Моделирование циркуляции Черного моря с высоким пространственным разрешением / С.Г. Демьшев, О.А. Дымова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2011. – В.25, Т.2. – С. 114–135.

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ПОДВОДНЫХ ЧАСТЕЙ АЙСБЕРГОВ, КАК ОБЪЕКТОВ
АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА**

Богородский А.В.

*АО «Концерн «Океанприбор», Чкаловский пр., 46, 197376,
Санкт-Петербург, 8(812) 499-75-37 mail@oceanpribor.ru*

In the report the method of calculation and theoretical estimation of possible values and properties of monostatic backscattering cross-section, equivalent radius and target strength of underwater parts of the Barents Sea icebergs at their approximation by rough finite size cylinders are presented.

На современном этапе развития технологий обнаружения и слежения за таким видом опасных ледяных образований (ОЛО), как айсберги, в целях безопасности эксплуатации морских гидротехнических сооружений в шельфовой зоне замерзающих морей, целесообразно комплексно использовать вместе с уже традиционными (авиационными, спутниковыми) каналами получения информации об ОЛО, также и гидроакустический канал [1].

Попытки оценить тактические характеристики существующих активных гидроакустических средств обнаружения подводных объектов применительно к задаче дальнего обнаружения айсбергов, равно как и попытки разработать технический облик специализированного гидролокатора, надёжно обеспечивающего решение подобной задачи в реальной ледовой обстановке, наталкиваются на принципиальный, и до настоящего времени являющийся актуальным, вопрос о количественных значениях энергетических характеристик отражающей способности (эффективной площади рассеяния, моностатического радиусе эквивалентной сферы и силе цели) подводных частей айсбергов (ПЧА).

Нами рассмотрен один из вариантов решения этой задачи, базирующийся на методах расчёта отражения и рассеяния акустических полей на шероховатых телах конечных размеров.

В работе [2] показано, что при моделировании процесса стационарной буксировки айсбергов различных размеров вертикальные попереч-

ные сечения их подводных частей могут быть корректно представлены как прямоугольники, а сами подводные части, как соответствующие прямые круговые цилиндры. При этом для малого айсберга, характерная площадь вертикального поперечного сечения цилиндра составляет $S_1 = 300 \text{ м}^2$, а для крупного айсберга – $S_2 = 5000 \text{ м}^2$

Поверхность подводной части айсберга a , значит, и поверхность аппроксимирующего цилиндра нельзя считать гладкой. В рамках настоящей работы модель подводной части айсберга (Рис. 1) представляется в виде шероховатого (в нашем случае гофрированного) цилиндра конечной длины $L \gg \lambda$, с радиусом гладкой поверхности $a \gg \lambda$, с крупными (много большими длины волны λ , облучающего айсберг звука) случайными неровностями (гофрами) $\zeta(x)$ меняющимися только по образующей цилиндра (координата x), и малыми неровностями, меняющимися только по направляющей цилиндра.

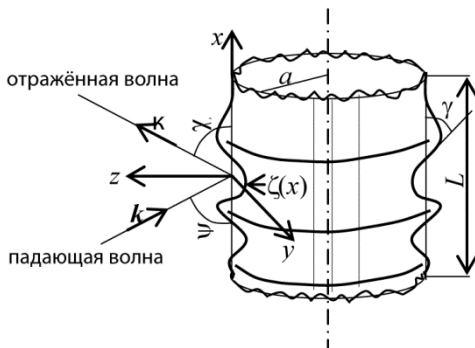


Рис. 1. Модель подводной части айсберга

Предполагается, что подобный цилиндр находится в однородной безграничной водной среде и облучается моностатическим импульсным низкочастотным гидролокатором, который затем принимает рассеянные цилиндром эхосигналы. Размеры разрешаемого гидролокатором объёма больше соответствующих размеров цилиндра, а длина акустической волны λ его облучающей равна 1 м. Полагая также, что плоскость падения $\{z, x\}$ акустической волны на шероховатый цилиндр параллельна оси цилиндра, точка наблюдения рассеянного цилиндром акустического поля находится в дальней зоне, а распределение производных $w(\gamma)$ случайной функции $\zeta(x)$ подчиняется нормальному закону, т. е. описывается уравнением вида

$$w(\gamma) = \frac{1}{\gamma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\gamma_0^2}\right), \quad (1)$$

где γ_0 – характерный тангенс угла наклона неровностей относительно невозмущённой поверхности; $\gamma_0^2 \equiv \overline{\gamma^2} = \overline{(d\zeta/dx)^2}$ – дисперсия производной тангенсов углов наклона, можно показать, что сечение рассеяния S шероховатого цилиндра в обратном направлении ($\psi = \chi$) имеет вид [3]

$$S(\psi, \psi) \approx aL |V(\psi)|^2 / (4\gamma_0 \sqrt{2\pi}), \quad (2)$$

где $V(\psi) = |V_0(\psi)| \exp(-2k^2 \sigma^2 \sin^2 \psi)$ – коэффициент отражения от шероховатой поверхности; $V_0(\psi)$ – коэффициент отражения когерентной составляющей поля от плоской границы раздела; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; σ – среднеквадратическая высота неровностей шероховатой поверхности.

Используя выражение для коэффициента отражения плоской акустической волны от плоской границы раздела жидкость – твёрдое тело, оценим модуль коэффициента отражения акустических волн от границы раздела вода – лёд $V_0(\psi) \sim 0,4$. Из условия определяющего неровности подводной части айсберга, как крупные, а именно – $k\gamma L \sin\psi \gg 1$, найдём, что при длине падающей акустической волны $\lambda = 1$ м и длине подводной части айсберга $L = 10$ м (например, малый айсберг), среднеквадратический тангенс угла наклона неровностей должен быть не менее $\gamma = 0,183$ рад. = $10,4^\circ$. При этом среднеквадратическая высота неровностей σ должна быть 1,83 м, а пространственный интервал корреляции неровностей составлять около 14 м.

Собрав полученные значения параметров, определяющих сечение обратного рассеяния от гофрированного цилиндра, выражение (2) для углов ψ близких к $\pi/2$ можем записать в следующем удобном для практического использования виде

$$S(\psi, \psi) \cong 0,087a \cdot L \text{ [м}^2\text{]}. \quad (3)$$

В таблице 1 приведены значения сечения обратного рассеяния, рассчитанные по выражению (3) а также соответствующие им значения эффективной площади рассеяния, радиуса эквивалентной сферы, силы цели и расчётной массы айсбергов трёх типоразмеров – малого (минимальные размеры), среднего (со среднестатистическими размерами) и крупного (с максимальными, наблюдавшимися в 2007 году размерами), статистические характеристики размеров которых приведены в таблице 2 работы [4]). Радиус a гладкого цилиндра рассчитывался по значениям

длины и ширины надводных частей баренцевоморских айсбергов. При этом за радиус a гладкого цилиндра, аппроксимирующего ПЧА, принимался радиус круга, равновеликого по площади эллипсу, оси которого соответствуют длине и ширине планового размера надводной части айсберга соответствующего типоразмера (среднего, минимального, максимального) [4]. Длина цилиндра L принималась равной значению осадки айсберга, соответствующего типоразмера. Считалось, что масса ПЧА составляет 90% массы всего айсберга.

Таблица 1

Типоразмер айсберга	Сечение обратного рассеяния S , м ²	Радиус эквивалентной сферы R_3 , м	Сила цели $T=20\lg R_3/2$, дБ	Расчётная масса айсберга M , кт (данные работы [3])
Малый	5.8	1.4	-3.3	1.9 (3.0)
Средний	409.0	11.4	15.1	1113.0 (1477.0)
Крупный	1551.0	22.2	20.9	8750.0 (4647.0)

На наш взгляд, наши расчётные данные находится в хорошем соответствии (не только по порядку величины, но и по значению) с расчётными данными массы айсбергов, приведёнными в работе [4] (указаны в скобках последнего столбца таблицы 1), рассчитывавшимися из условия гидростатического равновесия плавучих тел, имеющих надводные части, конфигурация которых соответствовала наблюдаемым айсбергам. Таким образом, измеряя моностатическую силу цели ПЧА, можно оценить размеры надводной части айсберга и его массу.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Богородский А.В., Лебедев Г.А.** Основные принципы построения системы гидроакустического мониторинга опасных ледяных образований на шельфе замерзающих морей для обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений // Проблемы Арктики и Антарктики, 2009. № 1 (81). С. 69–79.
2. **Марченко А.В.** Устойчивость буксировки айсберга // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Вып. 51(335), СПб., 2010. С. 69–79.
3. **Басс Ф.Г., Фукс И.М.** Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: «Наука», 1972. 424 с.
4. **Кубышкин Н.В., Андреев О.М., Бородулин В.В., Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я., Скутин А.А.** Экспедиционные исследования айсбергов и ледников западного сектора российской Арктики по программе международного полярного года (2007–2008 гг.) // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Вып. 51(335). СПб., 2010. С. 169–179.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ГИБРАЛТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Слепышев А.А.¹, Багатинский В.А.², Лактионова Н.В.³

¹*Морской гидрофизический институт, ул. Капитанская, 2, 299007, г. Севастополь, +79789296153, slep55@mail.ru*

²*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Физический факультет, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.*

³*Филиал МГУ имени М.В.Ломоносова в Севастополе, 299007, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 7*

In a Bussinesque approximation free internal inertia-gravity waves are considered at the account of turbulent viscosity in a shear flow. In linear approximation the dispersive relation, decrement of wave attenuation are found. In the second order on wave amplitude a vertical wave fluxes of momentum are determined.

Вертикальный обмен в морской среде играет ключевую роль в переносе примесей, растворенных веществ и кислорода в глубинные слои моря, сероводорода из них, осуществляет «вентиляцию» вод. Традиционно вертикальный обмен связывают с мелкомасштабной турбулентностью, которая глубже верхнего перемешанного слоя сильно подавлена стратификацией и имеет перемежаемый характер. Поэтому представляется актуальным исследование вклада внутренних волн в вертикальный обмен за счет нелинейных эффектов. В работе [1] показано, что при учете турбулентной вязкости и диффузии вертикальные потоки тепла и соли, обусловленные внутренними волнами, отличны от нуля. Вертикальный поток импульса также отличен от нуля [1]. Представляет интерес найти этот поток импульса в вертикально-неоднородном течении для инерционно-гравитационных внутренних волн (при учёте вращения Земли). Примечательно, что поток импульса \overline{vw} в этом случае отличен от нуля даже при неучёте турбулентной вязкости и диффузии (v , w – компоненты волновой скорости, ортогональные горизонтальному волновому вектору). Коэффициентами вертикального турбулентного обмена пренебрегаем, так как они на 3–5 порядков меньше коэффициентов

горизонтального обмена. Итак, рассматриваются свободные внутренние волны в приближении Буссинеска в плоскопараллельном стратифицированном потоке с учётом вращения Земли и горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии. В линейном приближении находится дисперсионное соотношение и декремент затухания волны. Во втором порядке по амплитуде волны находятся вертикальные волновые потоки импульса.

Вертикальные потоки импульса, обусловленные внутренними волнами, рассчитаем для 14-минутных внутренних волн низшей моды, наблюдавшихся в Гибралтарском проливе [2]. Максимальная амплитуда этих волн составила 16 м. Профили частоты Вьяйсяля–Брента и скорости течения показаны на рис. 1 *а, б* [2].

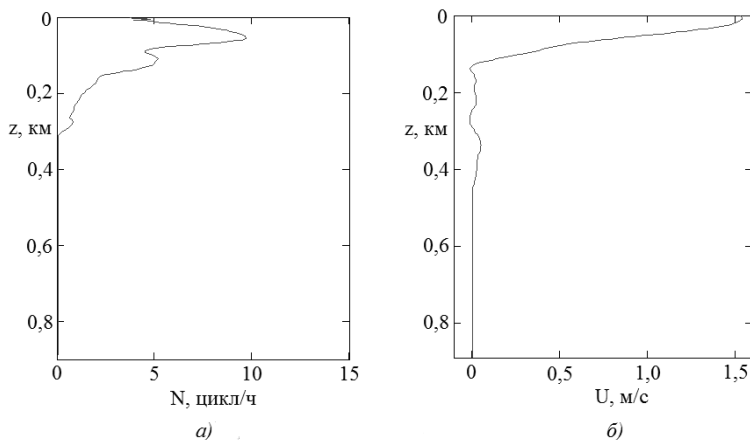


Рис. 1. Вертикальный профиль частоты Вьяйсяля – Брента – *а*;
вертикальный профиль скорости течения – *б*

Дисперсионные кривые первых двух мод показаны на рис. 2. В низкочастотной области происходит обрезание по частоте дисперсионных кривых. Это обусловлено влиянием критического слоя, где частота волны со сдвигом Доплера равна инерционной частоте. У второй моды обрезание дисперсионной кривой происходит на более высокой частоте, чем у первой моды.

Профили вертикального волнового и турбулентного потоков импульса показаны на рис. 3а. Турбулентный поток импульса рассчитывается по формуле $\overline{u'w'} = -K_z dU_0 / dz$, коэффициент вертикального обмена

на K_z определяется по формуле $K_z = 8.4N_c^{-1} \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, N_c соответствует частоте Вайсяля – Брента в цикл/ч [3]. Волновой поток по абсолютной величине превосходит турбулентный. Профили волновых потоков импульса \overline{vw} , \overline{uw} показаны на рис. 3б. Волновой поток \overline{vw} превышает поток \overline{uw} .

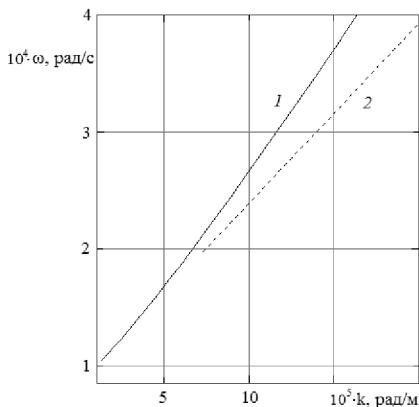


Рис. 2. Дисперсионные кривые первых двух мод

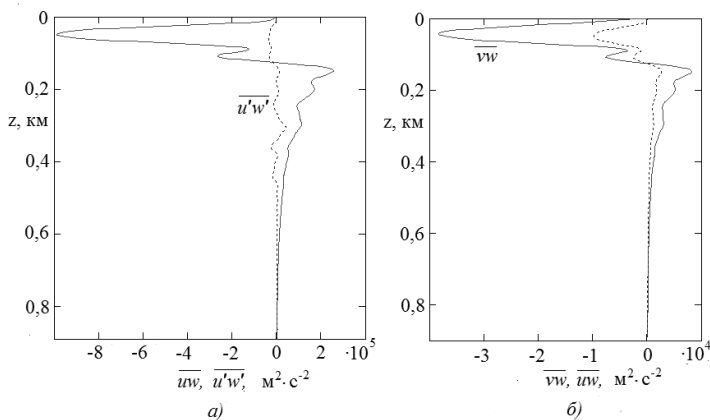


Рис. 3. Профили волнового и турбулентного потоков импульса – а; сравнение потоков \overline{vw} , \overline{uw} – б

Волновой поток \overline{vw} отличен от нуля и при пренебрежении турбулентной вязкостью и диффузией, причем учет последней его практически не меняет.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Слепышев А.А.** Процессы переноса, обусловленные слабонелинейными внутренними волнами при наличии турбулентности // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 1997. – 33, № 4. – С. 536–548.

2. **Watson G.** Internal waves in a stratified shear flow: the Strait of Gibraltar // J. Phys. Oceanogr. 1994. V. 24. № 2. P. 509–517.

3. **Иванов В.А., Самодуров А.С., Чухарев А.М., Носова А.В.** Интенсификация вертикального турбулентного обмена в районах сопряжения шельфа и континентального склона в Черном море // Доп. НАН України. 2008. № 6. С. 108–112.

УДК 551.521.9

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Подымов И.С.¹, Подымова Т.М.^{1,2}

¹ Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
ул. Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик,
8(86141)28281, ipodymov@inbox.ru
² tpodymova@inbox.ru

Paper presents the results of monitoring seasonal variability of volumetric activity of radon in the atmospheric surface layer at the North-Eastern coast of the Black sea. Presented results are the part of the five-year investigations oriented to studying the interaction of region's ecosystems and population in the aspect of modern problems of ecological safety the Azov-Black sea coast of Russia.

В докладе представлены результаты мониторинга сезонной изменчивости объемной активности радона в приземном слое атмосферы северо-восточного побережья Черного моря. Представляемые результаты

являются составной частью пятилетних исследований, ориентированных на изучение взаимодействия экосистем региона и населения в аспекте современной проблемы экологической безопасности Азово-Черноморского побережья России.

Задачи, ориентированные на исследование взаимодействия экосистем региона и населения, возникли после неординарного геологического события, произошедшего на Таманском полуострове в 2011 году. В ночь с 29 на 30 апреля, в районе мыса Каменный, произошло высокоамплитудное неотектоническое поднятие участка дна Азовского моря с захватом 10 га поверхности береговой полосы. Амплитуда поднятия превысила 5 м. Замеры объемной активности радона (ОАР) в надпочвенном воздухе в районе поднятия показали значения до 80000 Бк/м^3 (при предельно допустимой величине 150 Бк/м^3) [1]. По данным экспедиционных исследований в весенне-летние периоды 2013-2015 г.г. построена карта распределения ОАР над поверхностью (в приземном слое 0-3 м) Таманского полуострова. Для получения первичных данных о концентрации радона использовался разработанный авторами экспресс-метод [2].

Оценка влияния сезона года на флуктуации ОАР в приземном слое атмосферы осуществлялась в 2016 г методом непрерывного мониторинга. Концентрация радона фиксировалась прибором Canary Pro, метеорологические параметры (температура и влажность воздуха, атмосферное давление) – метеостанцией УТ-330С. В измерителе радона реализован спектроскопический метод. Запись ОАР в память прибора производится ежечасно с осреднением в движущемся окне шириной 24 часа. Метеоданные записываются в память прибора каждые полчаса, с осреднением в движущемся окне шириной 0.5 часа. Основной задачей эксперимента стал поиск закономерностей между флуктуациями ОАР и названными метеопараметрами.

Необходимо пояснить, о каком изотопе радона идет речь. Существует три природных изотопа: радон (^{222}Rn), торон (^{220}Rn) и актинон (^{219}Rn). Поскольку время 97% распада торона и актинона составляет 285с и 20с, соответственно, эманации актинона и торона не способны к миграции на сколько-нибудь заметные расстояния от ядер-предшественников. Время 97% распада радона составляет 20 суток. По этой причине во всех наших рассуждениях под ОАР подразумевается объемная активность природного изотопа радона ^{222}Rn .

На рис. 1 приведен график колебаний текущих значений ОАР в приземном слое атмосферы относительно среднего значения за весь период мониторинга.

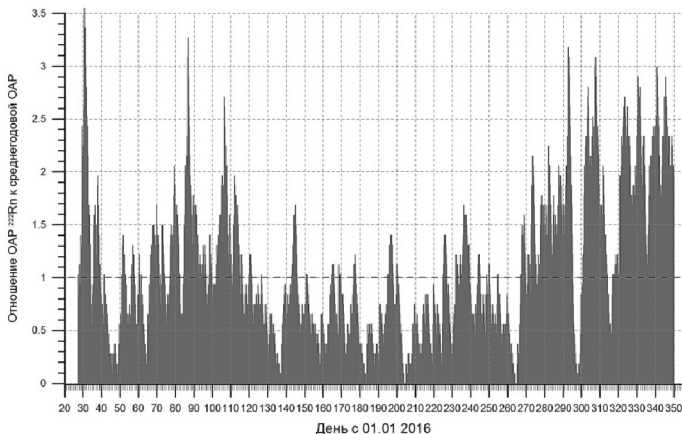


Рис. 1. График колебаний объемной активности радона в приземном слое атмосферы относительно среднего значения за весь период наблюдений

На рис. 2 показан график отношения средних значений OAP за сезон к средней величине OAP в приземном слое атмосферы за весь период мониторинга.

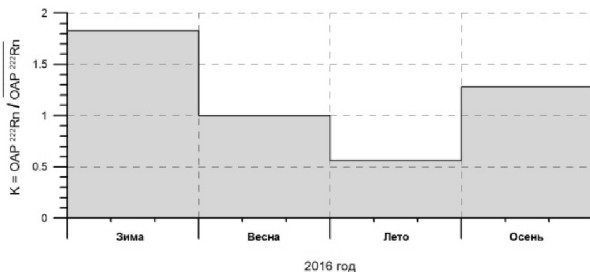


Рис. 2. График отношения средних значений OAP за сезон к средней величине OAP за весь период наблюдений

Из рис. 2 видно: наибольшая средняя концентрация радона характерна для зимнего сезона, наименьшая – для летнего. С целью поиска причин существенных различий концентрации радона на годовом интервале, выполнен спектральный анализ рядов изменения OAP, атмосферного давления, влажности и температуры воздуха (рис. 3–6).

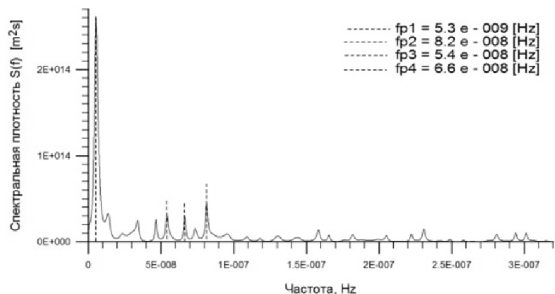


Рис. 3. График спектральной плотности радона

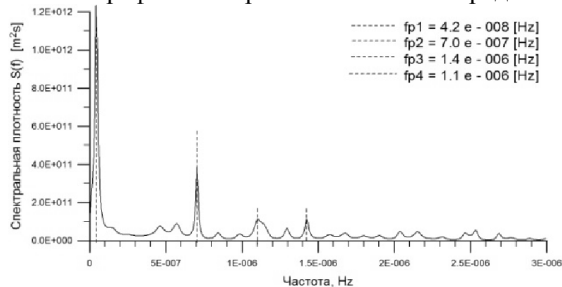


Рис. 4. График спектральной плотности давления

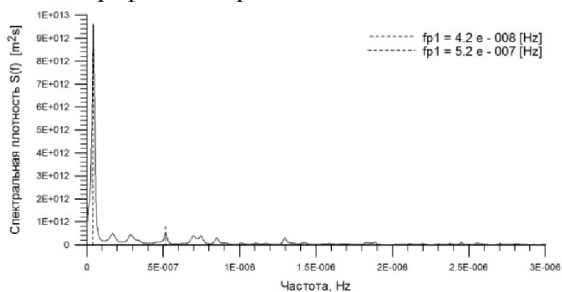


Рис. 5. График спектральной плотности влажности

Рис. 3–6 показывают, что пики спектральных плотностей радона, атмосферного давления, влажности и температуры воздуха лежат на разных частотах. Это означает, что флуктуации метеопараметров не оказывают существенного влияния на динамику ОАР в приземном слое атмосферы. Мы пришли к выводу, что средне-сезонные концентрации радона зависят от уровня грунтовых вод, а экстремальные флуктуации свя-

заны с тектонической активностью и могут служить предвестниками землетрясений. О самых важных результатах исследований предполагается рассказать в презентации.

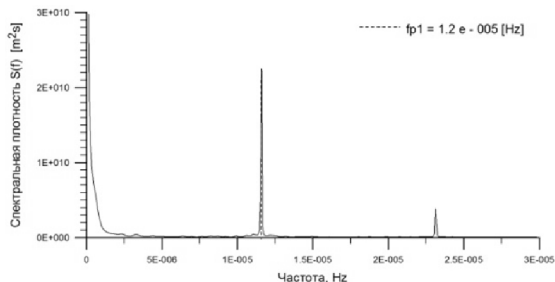


Рис. 6. График спектральной плотности температуры

ЛИТЕРАТУРА

1. **Подымов И. С.** Распределение объемной активности радона над земной поверхностью Таманского полуострова / И. С. Подымов, Т. М. Подымова // Процессы в геосредах. – 2016. – Т.6, №2. – С. 135–140.

2. **Подымов И. С.** Экспресс-метод исследований объемной активности радона над земной поверхностью / И. С. Подымов, Т. М. Подымова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – №2. – С. 19–22.

УДК 551.465

ПОТОКИ ДОННОЙ ВОДЫ В АБИССАЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Морозов Е.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва Нихимовский пр. 36,
8-499-1291945, egmorozov@mail.ru*

We study bottom flows of Antarctic Bottom Water in the Abyssal channels of the Atlantic Ocean: the Vema Channel, the Romanche, Chain, Vema fracture zones and other fracture zones in the Mid-Atlantic Ridge. Velocities and transports of bottom flows

are estimated on the basis of filed measurements with CTD/LADCP profilers.

Антарктическая донная вода (ААДВ) представляет собой наиболее холодную и тяжелую воду, заполняющую глубоководные котловины на значительной части Мирового океана. Эта вода формируется на антарктическом склоне всего в нескольких районах по периметру Антарктиды, в частности, в море Уэдделла в Атлантике. Достигнув ложа Мирового океана, ААДВ из районов своего формирования распространяется на север, перетекая из одной котловины в другую. В Атлантике эта вода, определяемая как слой вод с потенциальной температурой $\theta < 2.0^{\circ}\text{C}$. Каналы и понижения в хребтах, разделяющих отдельные котловины, играют ключевую роль в распространении ААДВ. В Атлантике к их числу (по ходу распространения ААДВ до Восточно-Азорского хребта) относятся многочисленные проходы в хребте Саут-Скотия, каналы Вима и Хантер, связывающие Аргентинскую и Бразильскую котловины, Экваториальный канал, разломы Вима (11° с.ш.), Романш и Чейн в Срединно-Атлантическом хребте на экваторе, проход Кейн (9° с.ш.) в Восточной Атлантике и многочисленные разломы в Северо-Атлантическом хребте [Morozov et al., 2010]. Во многих разломах пути распространения ААДВ в Атлантике на сегодняшний день остается малоисследованным. В особенности это относится к северным разломам в Срединно-Атлантическом хребте.

В 2016 исследованы потоки в нескольких разломах в Северо-Атлантическом хребте, которые соединяют глубоководные части Западной и Восточной Атлантики: это разломы Вима, Долдрамс, Вернадского, Безымянный разлом на $7^{\circ}28'$ с.ш. и разломы Страхова и Богданова. Подтвердился более ранний результат, что в разломе Вима существует наиболее сильный поток Антарктической воды на восток со скоростями течений до 45 см/с. Обнаружена сильная межгодовая изменчивость скоростей течений и расходов в разломе Вима по данным 2014, 2015 и двух экспедиций 2016 гг. Измерения 2016 г. показали, что в разломах Безымянный 7.5° с.ш., Богданова, Долдрамс, Архангельского и Вернадского существуют потоки донных вод в восточную Атлантику меньшие, но сопоставимые с разломом Вима.

Батиметрическая карта разломов в Северо-Атлантическом хребте и станции НИС «Академик Сергей Вавилов» в этом района показаны на рисунке.

Ранее, во многих из этих каналов измерения течений не проводились вообще, поэтому работы 2014–2016 гг. можно считать пионерскими.

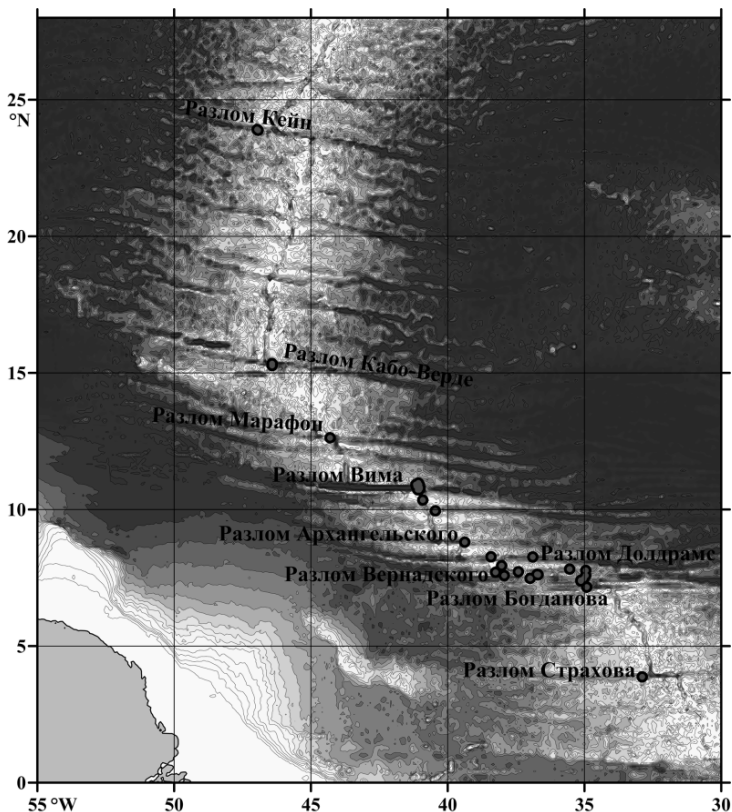


Рис. 1. Батиметрическая карта Северо-Атлантического хребта. Станции измерений отмечены красными точками

Наблюдается сильная межгодовая изменчивость потока в разломе Вима. Расход меняется от 0.7 до 1 Св. При увеличении максимальной скорости потока расход через разлом может снизиться, если ядро максимальных скоростей окажется прижатым ко дну, где сечение канала меньше.

Прямого потока донной воды через разлом Долдрамс почти нет. Поток идет через разлом Вернадского, затем поворачивает в рифтовую долину между разломами Долдрамс и Вернадского и затем течет в восточную Атлантику уже по разлому Долдрамс.

Исследованы интенсивные потоки и их структура в экваториальном подповерхностном противотечении Ломоносова.

Исследованы потоки Антарктической донной воды в каналах на плато Сантос к западу от канала Вима в Южной Атлантике. Исследованы глубоководные каналы 43 градуса и 42 градуса. Через указанные малые каналы, промытые потоками Антарктической донной воды, эта вода затекает на плато Сантос. Скорости в этих каналах достигают 17 см/с, расходы донной воды составляют доли Свердрупа. Обнаружена сезонная изменчивость потоков. В весенний сезон часть потока идет на север, а в осенний сезон все потоки направлены на юг.

Работы проводились с борта НИС "Академик Сергей Вавилов" STD-зондом SBE-19-plus и погружаемым профилографом скорости LADCP Sentinel Workhorse 300 kHz.



Рис. 2. STD-зонд SBE-19-plus и погружаемый профилограф скорости LADCP Sentinel Workhorse 300 kHz вместе с пингером и батометрами на карусели SBE32

ЛИТЕРАТУРА

1. **Morozov E., Demidov A., Tarakanov R., Zenk W.**, Abyssal Channels in the Atlantic Ocean: Water Structure and Flows, Springer, 2010, 266 p.

РЕЗУЛЬТАТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ

Соколов В.А.

*Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова»
119034 г. Москва, Кропоткинский пер., д. 6
+7 (499) 246 3970, vasokolov@inbox.ru*

On the basis of known in theoretical mechanics Hamilton's principle of least action (principle of stationary action), in the formulation of the linear theory of diagnostic calculations of sea currents [Sargsyan, 1966, 1977; Kozlov, 1969], an analytical solution for the horizontal calculations components u , v velocity, on the base horizon $z = D$. The solution allows the calculation of absolute flow velocity on the set point changes in the calculated vertical horizontal derivatives of sea water density – ρ and the tangential wind stress. It is a generalization dynamic method [Fomin, 1961] and can be used for calculation of currents in the sea hydrological sections, hydrological landfills, in the calculations of the boundary conditions on the liquid loop marine, ocean circulation numerical models.

На основе известного в теоретической механике принципа наименьшего действия Гамильтона (принципа стационарности действия), в постановке линейной теории диагностических расчётов морских течений [Саркисян, 1966, 1977; Козлов, 1969], получено аналитическое решение, для расчётов горизонтальных составляющих скоростей u , v на отсчётном горизонте $z=D$. Решение позволяет рассчитывать абсолютные скорости течений по заданным в расчётной точке изменениям по вертикали горизонтальных производных плотности морской воды – ρ и тангенциальному напряжению ветра. Оно представляет собой вариационное обобщение Динамического метода [Фомин, 1961] и может быть использовано для расчётов течений на морских гидрологических разрезах, гидрологических полигонах, в расчётах граничных условий на жидком контуре в морских, океанских численных циркуляционных моделях.

В рассматриваемой постановке принцип наименьшего действия Гамильтона соответствует минимуму Лагранжиана (разница кинетической

и потенциальной энергии), записанного для объёма жидкости, нижняя граница которого расположена на морском дне – $H(x,y)$, верхняя – на морской поверхности. Горизонтальное сечение этого объёма определяется размерами шагов расчётной сетки в направлении горизонтальных осей X и Y . Записывая изменения потенциальной энергии морской воды в рассматриваемом объёме в виде функции от пространственных производных плотности – ρ и скоростей течений получим запись Лагранжиана морской воды в этом объёме в форме квадратичного функционала от неизвестных горизонтальных составляющих течений $u(D)$, $v(D)$. Варьирование этого функционала по величинам $u(D)$, $v(D)$ позволяет получить уравнения Эйлера-Лагранжа для определения этих величин. Полученные аналитические решения для $u(D)$, $v(D)$ используются для проверки используемых в работе допущений и преобразований. Запись этих решений для двух отсчётных горизонтов $z=D_1$, $z=D_2$, расположенных вблизи дна за пределами слоя дрейфовых течений, позволяет получить величины $u(D_2)-u(D_1)$, $v(D_2)-v(D_1)$, которые должны соответствовать условию геострофического баланса сил. Проведённая аналитическая проверка подтвердила это соответствие. Дальнейший анализ полученного решения показал, что в условиях изо пикничности морских потоков минимум рассматриваемого Лагранжиана соответствует минимуму кинетической энергии течений в рассматриваемом морском объёме. Из этого результата следует, что предложенный Л.М. Фоминым (1985) метод расчёта абсолютных значений геострофических течений, основанный на минимизации их кинетической энергии в столбе жидкости высоты H , является частным случаем рассмотренного варианта принципа наименьшего действия, соответствующий изо пикническому движению геострофических течений в рассматриваемом объёме. Показывается, что в условиях изо пикнического движения геострофического потока течений справедливо так же выполнение гипотезы Г. Свердрупа, согласно которой в стационарной циркуляции реального океана потоки вод, переносимые дрейфовыми течениями, компенсируются по вертикали горизонтальным переносом плотностных геострофических течений [Свердруп, 1947]. На основе этой гипотезы Свердрупом (1947), а, позднее, В.А. Бурковым (1972) исследовалась циркуляция вод Тихого океана, а наш результат позволяет в более общей постановке оценить физическую суть их исследований.

ПОЛИГОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИЛИВНОГО МОРЯ

Новотрясов В.В., Пермяков М.С., Степанов Д.В., Ярошук И.О.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО
РАН, Балтийская 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)231-28-60,
vadimnov@poi.dvo.ru*

The study presents a methodology of the assess of the dispersion and quadratic nonlinearity coefficients of the KdV equation on the shelves of the marginal seas. Using the undular bore theory, it was found relationships between the coefficients and linear wave parameters in the relaxation zone and on the leading edge of the bore.

Активное изучение динамики внутренних гравитационных волн (ВГВ) над континентальным шельфом дальневосточных морей стимулируется необходимостью решения различных геофизических задач: перестройкой донного рельефа, расчётом динамики загрязняющих веществ, подводной навигацией и т.д.

Исследование этого процесса в натуральных условиях показали, что в шельфовой зоне ВГВ проявляют нелинейные свойства, распространяются в виде нестационарных пакетов высокочастотных, интенсивных ВГВ со значительной крутизной переднего фронта, т.е. представляют слабо дисперсионную ударную волну, или внутренний волновой бор. Основная сложность, с которой сталкиваются исследователи этого процесса в натуральных исследованиях связана с экспресс определением волновых параметров фонового состояния шельфовых вод: скорости распространения длинных ВГВ, параметра квадратичной нелинейности и дисперсии.

В работе излагается методика экспресс определения коэффициентов дисперсии – α и квадратичной нелинейности – β уравнения Кортевега-Вриза при полигонных исследованиях интенсивных ВГВ в шельфовых водах окраинных морей. С использованием теории волновых боров на пикноклине получены соотношения, связывающие коэффициенты α и β с параметрами линейных волн (волновое число) в зоне релаксации

бора и его переднего фронта (его амплитудой и длительностью). На данных натурального эксперимента, поставленного на гидрофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН осенью 2012 года [1,2], выполнено сопоставление коэффициентов квадратичной нелинейности и дисперсии, полученных по традиционной и предлагаемой методике. Её теоретическую основу представляет уравнение Кортевега-де Вриза:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} + \beta \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} = 0,$$

где $\eta(x, t)$ – вертикальные смещения термоклина, x – горизонтальная координата, t – время, c_0 – скорость длинной линейной внутренней волны, α и β – коэффициенты нелинейности и дисперсии, которые определяются через квадратуры вида

$$\alpha = (3/2) c_0^3 N r^{-1} \int_{-H}^0 (dW/dz)^3 dz, \beta = (3/2) c_0^3 N r^{-1} \int_{-H}^0 W^2 dz, \quad (1a)$$

$$c_0^2 = N r^{-1} \int_{-H}^0 (dW/dz)^2 dz, N r = \int_{-H}^0 W^2 N_0^2 dz. \quad (1б)$$

В формулах (1а, б) $W(z)$ – амплитудная функция вертикальных смещений первой моды ВГВ, которая представляет решение краевой задачи:

$$d^2 W/dz^2 + N^2(z) W/c^2 = 0, W(0) = W(-H) = 0, W(z)_{max} = 1.$$

Оценка параметров по формулам (1а, б) по данным натуральных измерений фонового поля частоты плавучести методически достаточно сложная и трудно реализуемая, техническая задача. В работе предлагается альтернативный, экспресс метод определения параметров квадратичной нелинейности и дисперсии, основанный на данных наблюдений за полем внутренних волн в шельфовых водах. Краткое содержание этого метода состоит в следующем.

Учитывая, что интенсивные высокочастотные ВГВ в прибрежной зоне наблюдаются, как правило, в виде волновых пакетов или волновых боров, предлагается использовать эти особенности ВГВ для определения коэффициентов уравнения КдВ, воспользовавшись гидродинамической моделью волновых боров, основанной на этом уравнении. В соответствии с моделью волновой бор представляет слабо дисперсную ударную внутреннюю волну, на переднем фронте которой располагается солитон КдВ, который движется со скоростью V_s , имеет амплитуду η_0

и полуширину Δ_s . Его тыловая зона или зона релаксации представляет линейную волну с волновым числом k_0 . Причём два последних пространственных масштаба связаны простым соотношением $k_0/2=1/\Delta_s$, которое является базовым в предлагаемой методике. Учитывая, что солитон движется со скоростью V_s , его длительность T_s по уровню 0,43 составит $T_s=2 \Delta_s V_s^{-1}$, а период осцилляций в тыловой зоне будет равен $T_w=2\pi(c_0 k_0)^{-1}$. Учитывая соотношение $k_0/2=1/\Delta_s$, получим для скорости солитона $V_s=c_0(2T_w)(\pi T_s)^{-1}$. Как известно скорость солитона V_s превышает скорость линейной волна c_0 на одну треть величины $\alpha\eta_0$. Отсюда для параметра параметр квадратичной нелинейности по известной амплитуде солитона, его длительности и периоду осцилляций в зоне релаксации получим

$$\alpha = \frac{3}{\eta_0} c_0 \left(\frac{2 T_w}{\pi T_s} - 1 \right). \quad (2a)$$

Аналогично, учитывая зависимость между амплитудой солитона и его пространственным масштабом, для параметра дисперсии получим

$$\beta = 4\eta_0^2 (2T_w - T_s) c_0 \frac{T_w}{T_s}. \quad (2б)$$

Соотношения (2а, б) решают поставленную задачу. Проведя измерения параметров волнового пакета: амплитуду лидирующего фронта и его длительность, а также период осцилляций в тыловой зоне, воспользовавшись соотношением (2а, б), можно получить оценку коэффициента квадратичной нелинейности α и дисперсии β уравнения КдВ.

На протяжении ряда лет на гидрофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН проводятся экспериментальные исследования внутренних волн. На рис. 1 представлена схема гидрофизического полигона с расположенными на нём автономными буйковыми станциями (АВС).

Полигон состоит из 7-и притопленных автономных буйковых станций (АВС), 2-е из которых были оснащены измерителями температуры «Onset» (АВС₆ и АВС₇), а остальные пять датчиками температуры DS18B20. Для каждой из пяти станций датчики температуры размещались на расстоянии 3 метра друг от друга. Исключение составлял первый датчик, который для АВС₁ АВС₂ АВС₄ АВС₅ размещался на горизонтах 4, 5 7 и 6 метров, соответственно. Последний датчик для каждой из пяти АВС, размещался на расстоянии 1 метра от дна. Продолжительность измерений составила чуть более 6 суток.

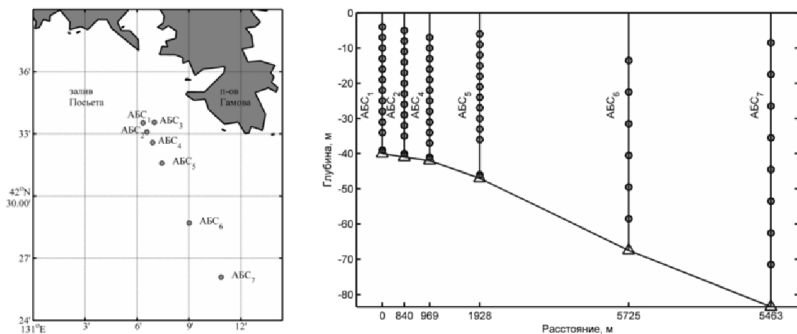


Рис. 1. Схемы расположения АБС (слева) на полигоне в заливе Посыета и схема размещения измерителей температуры на АБС (справа) по волновой трассе на полигоне. По оси абсцисс отложено расстояние между двумя соседними АБС. Сплошной черной линией показан рельеф дна

ЛИТЕРАТУРА

1. **Novotryasov V.V., Stepanov D.V., Yaroshchuk I.O.** Observations of internal undular bores on the Japan/East Sea shelf-coastal region // *Ocean Dynamics*. – 2016. – Vol. 66. – P. 19–25.
2. **Ярошук И.О., Леонтьев А.П., Кошелева А.В., Пивоваров А.А., Самченко А.Н. Степанов Д.В., Швырев А.Н.** Об интенсивных внутренних волнах в прибрежной зоне залива Петра Великого (Японское море) // *Метеорология и гидрология*. – 2016. – № 9. – С. 55–62.

ОБОБЩЁННЫЙ МЕТОД СОВМЕСТНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕРМОХАЛИННЫХ ПОЛЕЙ МОРСКИХ ВОД

Соколов В.А.

*Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова»
119034 г. Москва, Кропоткинский пер., д. 6
+7 (499) 246 3970, vasokolov@inbox.ru*

Рассматривается обобщение ранее опубликованного в работе [Montgomery, 1955] статистического анализа наблюдений температуры – T и солёности – S , используемого автором для качественной классификации полей T - S наблюдений на поверхности Северной Атлантики вблизи точки погоды J . В методе разработаны критерии его применимости, предъявляемые к количеству используемых данных в массивах T - S наблюдений. Вводятся понятия и описаны методики построения по полученным на рассматриваемых горизонтах данным совместных T - S наблюдений интегральных и локальных гистограмм совместных функций плотности вероятности T - S (СФПВ T - S). Описаны методики построения этих гистограмм с учётом расчётных значений статистических весов T - S наблюдений при заданном уровне доверительного интервала вероятности. Приводится доказательство соответствия водных масс морских вод (ВМ) кластерам, размещённых на гистограммах СФПВ T - S . На примере эволюции форм статистических распределений T - S на гистограммах СФПВ T - S , построенных по данным наблюдений летнего сезона на горизонте 100 м в районе расположения дельты Гольфстрима за периоды осреднений 1942–1976, 1977–1998, 1998–2010 показывается и объясняется причины расположения средних на фронте величин T , S в области маловероятных T - S значений. Приводятся примеры и представляются нанесённые на карты результаты использования интегральных гистограмм СФПВ T - S в решении задач:

– в автоматической фильтрации ошибок в массивах T - S наблюдений, проводимых на требуемом уровне доверительного интервала вероятности (ДИВ);

– в тестировании на заданном уровне ДИВ расчётных значений термохалинных полей на вероятность реализации их значений в природе.

Для проведения более тонких операций, связанных с коррекцией маловероятных расчётных значений T - S , предлагается использовать ло-

кальные гистограммы СФПВ T-S, построенные по данным наблюдений, расположенных вблизи расчётной точки с учётом их удалённости от этой точки и наличия в них пространственной анизотропии, понижающей статистические веса этих данных. С учётом рекомендаций теории распознавания образов [Патрик, 1980] коррекция маловероятных T-S значений проводится по результатам построения локальной гистограммы СФПВ T-S в условиях минимизации безразмерной квадратичной нормы.

$$Q = \left[\frac{(T_{ij} - T_p)^2}{D(T)} + \frac{(S_{ij} - S_p)^2}{D(S)} \right] \cdot G \left(\frac{\partial \rho_{ij}}{\partial z} \right),$$

где $\frac{\partial \rho_{ij}}{\partial z}$ – производная по вертикали значений плотности, соответствующей температуре – T_{ij} и солёности S_{ij} , $D(T)$, $D(S)$ – оценки дисперсий T и S , $G \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)$ – функция Дирака, равная 1 при положительной величине её аргумента и 1000 при его отрицательных величинах.

УДК 551.468+465

СЕЗОННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОФРОНТА В РАЙОНЕ УСТЬЯ ДУНАЯ

Цыганова М.В.¹, Лемешко Е.М.^{1,2}

¹ *Морской гидрофизический институт РАН,
Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, 8(692)54-52-41
m.tsyganova@mhi-ras.ru*

² *Черноморский гидрофизический полигон РАН,
ул. Академика В.В. Шулейкина, д.9, 298688, пгт.Кацивели, 8(3654)23-70-
71, evgeny.lemeshko@mhi-ras.ru*

The Danube river inflow influence on the hydrological structure of the shelf waters on the western Black Sea shelf is studied on the basis of numerical modeling. As a result, the model gives qualitatively correct scales of salinity front related with Danube discharge, plume and alongshore current evolution.

В докладе представлена часть современной деятельности Морского гидрофизического института РАН (МГИ РАН), связанная с исследованием распространения речных вод, обусловленных стоком Дуная, на северо-западном шельфе Черного моря на основе численного моделирования. [1]. Для этого использовалась трехмерная сигма-координатная численная модель совместной динамики мелкого моря [2]. Исходная система уравнений имеет вид:

$$\frac{\partial uH}{\partial t} + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - fvH + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{H} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \right] + HF_x + G_x, \quad (1)$$

$$\frac{\partial vH}{\partial t} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + fuH + \frac{H}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{H} \left(\frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \right] + HF_y + G_y, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial TH}{\partial t} + \Lambda T = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{H} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) \right] + HF_T, \quad (4)$$

$$\frac{\partial SH}{\partial t} + \Lambda S = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{H} \left(\frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) \right] + HF_S. \quad (5)$$

здесь в σ – координатной системе $\sigma=(z-\eta)/H$, $\sigma \in [0,1]$, где x, y, z – декартовы координаты, $H=h+\eta$ – глубина моря, $h(x, y)$ – рельеф дна моря, $\eta(x, y, t)$ – уровень моря, u, v, w – компоненты скорости по x, y, σ – соответственно; ρ_0 – средняя плотность, f – параметр Кориолиса, T, S – температура и соленость воды. Слагаемые HF_x, HF_y, HF_T, HF_S – параметризуют горизонтальную турбулентную вязкость, A_M, A_H – зависят от горизонтальных градиентов скорости.

Коэффициенты вертикальной турбулентной вязкости и диффузии определяются по формулам (6): $K_M = \max(LqS_M, K_{M\Phi})$, $K_H = \max(LqS_H, K_{H\Phi})$, где $q^2/2$ – турбулентная кинетическая энергия; L – макромасштаб турбулентности; S_M, S_H – функции динамического числа Ричардсона; константы $K_{M\Phi}, K_{H\Phi}$ – фоновые значения. Функции q, L находятся из решения уравнений баланса турбулентной энергии, решаемых совместно с основной задачей.

На поверхности и дне принимаются следующие граничные условия:

$$\sigma = 0, w = 0, \frac{K_M}{H} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^0, \tau_y^0), \frac{K_H}{H} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = \frac{1}{\rho_0} (Q_T, Q_S), \quad (6)$$

$$\sigma = -1 \quad w = 0, \frac{K_M}{H} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^B, \tau_y^B), \frac{K_H}{H} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0,$$

где Q_T, Q_S – потоки тепла и соли. Выражения для касательных напряжений на свободной поверхности и на дне соответственно: $(\tau_x^0, \tau_y^0) = \rho_a C_A |W| (w_x, w_y)$, $(\tau_x^B, \tau_y^B) = \rho_a C_D |U| (u, v)$, ρ_a – плотность воздуха, C_A, C_D – коэффициенты трения, $W = (w_x, w_y)$ – скорость ветра на высоте 10 м, $U = (u, v)$ – горизонтальная скорость течения. На твердых боковых границах равны нулю скорости, потоки тепла и соли.

Для стока воды Дуная характерны хорошо выраженное длительное и высокое весенне-летнее половодье, сформированное талыми и дождевыми водами, и летне-осенняя межень. Весенне-летнее половодье наблюдается в марте-июле, летне-осенняя межень – в августе-сентябре [3]. В осенне-зимнее время перемешивание слоев происходит за счет конвективного перемешивания, ветрового воздействия и процессов вовлечения в придонном пограничном слое [4]. В период гидрологической зимы вся устьевая область Дуная представляет собой фронтальную зону с ростом температуры от побережья в направлении открытой части моря. В непосредственной близости от устья Дуная в наиболее мелководной части формируется зона минимальных температур. В поверхностном слое температура опускается ниже 1 °С, а в придонном слое составляет 3,0–3,5 °С. В мористой части, за температурным фронтом, весь рассматриваемый 20-метровый слой характеризуется однородной температурой 5,0–5,5 °С. Для летнего периода характерен слабый водообмен между верхним и нижним слоями водных масс, обновление нижнего слоя которых происходит исключительно за счет взаимодействия с открытой частью моря. Поле солёности поверхностных вод, независимо от сезона года, определяется расположением и интенсивностью основного источника распреснения – устья Дуная. Если большую часть акватории северо-западного шельфа Черного моря занимают воды с солёностью более 17‰, то взморье Дуная занимают воды с солёностью 14–16‰. Расчеты проводились для различных величин солёности, температуры, расхода.

Модель совместной динамики мелкого моря дает качественно верное положение стокового гидрофронта в районе устья Дуная и адекватно описывает его эволюцию в прибрежной зоне шельфа и формирование

вдольберегового плотностного течения, позволяет оценить его расход на разном удалении от устья реки для различных сезонов.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Цыганова М.В.** Моделирование формирования гидрофронта в районе устья Дуная/ М.В. Цыганова, Е.М. Лемешко, Ю.Н. Рябцев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – №3. – С. 26–31.

2. **Иванов В.А.** Математическое моделирование динамических процессов в зоне море-суша / В.В. Фомин. – Севастополь, 2008. – 363с.

3. **Михайлов В.Н.** Гидрология дельты Дуная: научное издание / В.Н. Михайлов. – Москва: ПК ГЕОС, 2004. – 448с.

4. **Блатов А.С.** Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря: научное издание / А.С. Блатов, В.А. Иванов // Киев: Наукова думка, 1992. – 241с.

5. **Иванов В.А.** Моделирование распресняющего эффекта речного стока во время весеннего половодья на северо-западном шельфе Черного моря / В.А. Иванов, А.И. Кубряков, Э.Н. Михайлова, Н.Б. Шапиро // Физика атмосферы и океана. – 1996. – Т.32. – №1. – С.152–160.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ НА ПЛАТФОРМЕ Д6 В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Мысленков С.А.^{1,2}, Кречик В.А.³, Бондарь А.В.³

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
stasocean@gmail.com*

²*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
ул. Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, 8(495)939-22-15*

³*Атлантическое отделение института океанологии
им. П.П.Ширшова РАН,
пр. Мира, 1, 236022, г. Калининград, 8(4012) 95-69-11,
myemail.gav@gmail.com, martin-swift@yandex.ru*

Paper presents the results of the analysis of water temperature variability according the data of thermo-chain installed to the D6 platform in the Baltic Sea (coastal zone of the Kaliningrad region) in 2015. Thermo-chain consisted of 10 sensors, time resolution was 1 min and data being collected for period 5.08.2015 – 25.05.2016. There were observed several events of upwelling, winter convection and diurnal fluctuations.

Представлены результаты анализа изменчивости температуры воды по данным термокосы, установленной в Балтийском море (прибрежная зона Калининградской области) на платформе Д6 в 2015 году. Всего было установлено 10 датчиков температуры (Starmon mini) на разных горизонтах, дискретность по времени 1 мин, глубина в месте установки 31 м. Датчики расположены на горизонтах: –1, 0, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 24, 28 м. Точность датчиков ± 0.025 °С, внутренней памяти в таком режиме записи хватает на 480 дней.

Данные были получены для периода с 5.08.2015 по 25.05.2016. За исследуемый период максимум температуры наблюдался в августе и составил 21.45 °С, а минимум в январе 2.38 °С.

Анализируя графики температуры на разных горизонтах (рис. 1) можно выделить период с 22.10.2015 по 15.03.2016, когда стратификация практически отсутствует. Это вызвано сильным осенне-зимним конвективным перемешиванием, которое продолжается постоянно и

другие факторы не оказывают влияние на стратификацию. Длительность этого периода составила 5 месяцев. Процесс образования льда не наблюдался. В августе наблюдалась наиболее сильная стратификация и разница температуры на поверхности и в придонном слое достигала 14 °С.

Весенний прогрев начался в середине марта и характеризовался повышением температуры на верхних горизонтах относительно нижних на 0.5 °С.

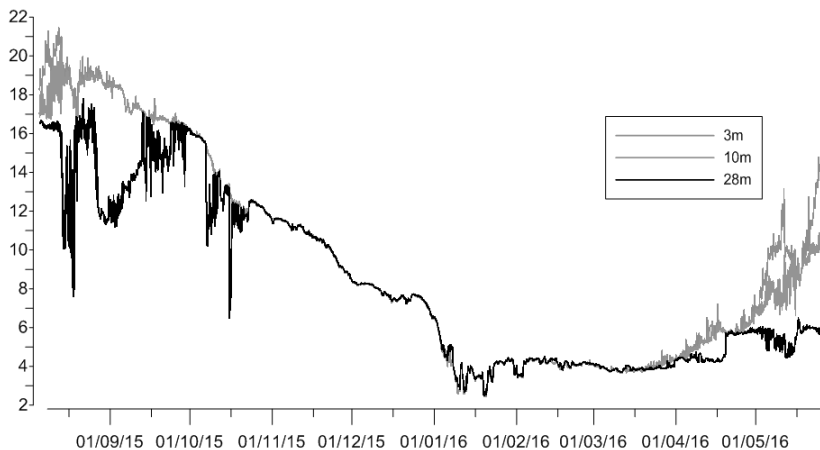


Рис. 1. Изменение температуры с 5.08.2015 по 25.05.2016 на горизонтах 3, 10, 28 м

За период наблюдений выделяется много событий, связанных с резким понижением температуры на одном или нескольких горизонтах. Это апвеллинги, длительность которых составляет от нескольких часов до 2–3 недель. За весь период наблюдений можно выделить несколько крупных событий, когда температура воды понижалась более чем на 5 °С.

Первый сильный апвеллинг наблюдался с 13 по 19 августа 2015 (рис. 2). Перед апвеллингом наблюдалась следующая стратификация по температуре: 20–21 °С на поверхности и 16–17 °С на горизонтах 13–28 м. Затем на придонном горизонте (28 м) температура резко упала до 7.5 °С, при этом на горизонте 24 м температура практически не изменилась. Также отметим, что с 13 по 19 августа на горизонте 28 м наблюдалась сильная изменчивость температуры, что вызвано расположением термоклина вблизи этого горизонта. Данное событие является классическим экмановским апвеллингом, так как ветер дул с востока со скоро-

стью 8–10 м/с на протяжении всего периода, а после смены направления ветра 19 августа апвеллинг прекратился.

Второй апвеллинг был наиболее продолжительным за весь период наблюдений и выделяется с 26 августа по 29 сентября 2015 (рис. 2). Здесь уже два нижних горизонта (24 и 28 м) подвержены влиянию подъема холодных вод, а верхний слой от 1 до 13 м перемешан. Температура на глубине 28 м упала с 17 до 11 °С, а на горизонте 24 м с 19 до 12 °С. Ветер в этот период был переменного направления и природа этого апвеллинга, по-видимому, не ветровая.

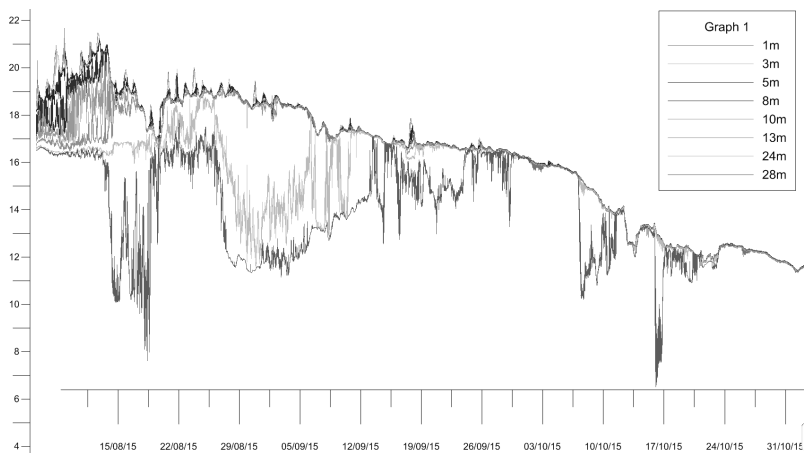


Рис. 2. Фрагмент записи температуры с 5.08.2015 по 1.11.2015 на разных горизонтах

Суточный ход температуры воды на приповерхностных горизонтах хорошо выделяется в период с 5.08 по 2.09 и с 18.03 по 25.05 (рис. 3). В некоторые периоды выделяется слабо, например, с 3.09 по 30.09. Суточный ход температуры воздуха на рис. 3 составляет в среднем 4–5 °С, для воды 0.5–1 °С. Амплитуда суточного хода на глубине 8 м меньше чем на глубине 3 м приблизительно на 0.2–0.3°C. На глубине 8 м суточный ход прослеживается совсем слабо. Коэффициент корреляции между температурой воздуха и температурой воды на горизонте 3 м составляет 0.85.

Полученные результаты в целом соответствуют имеющимся представлениям о термической структуре вод в данном регионе [1, 2], одна-

ко на основе измерений термоксы появилась возможность более точно определить длительность тех или иных процессов. Благодаря высокому временному разрешению используемых датчиков удалось выявить высокочастотную изменчивость с периодами 5, 12 и 28 минут. Подробный спектральный анализ данных планируется провести в будущем.

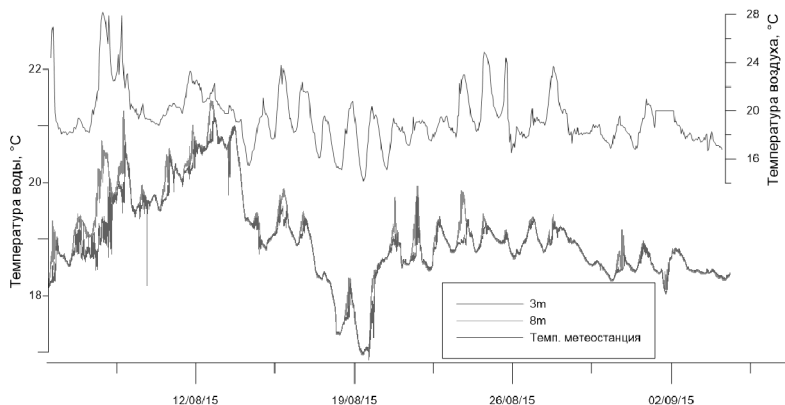


Рис. 3. Изменение температуры воды и воздуха с 5.08.2015 по 7.09.2015

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов А.Н., Мысленков С.А., Гриценко В.А. и др. Особенности структуры и динамики вод в прибрежной части Балтийского моря вблизи Самбийского полуострова // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. № 1. С. 41–47.

2. Кречик В.А., Гриценко В.А. Термическая структура прибрежных вод Балтийского моря у северного побережья Калининградской области // Процессы в геосредах. 2016. № 1(5). С. 77–84.

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПЛЕНОК НЕФТИ НА ВЗВОЛНОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Бородин М.А.¹, Пименов А.А.²

¹ АО «Концерн «Океанприбор» Кировский филиал, Кировск, Ленинградская обл., Россия, 8 (812) 320-80-40,

² АО «Концерн «Океанприбор», Чкаловский пр., д.46, Санкт-Петербург, Россия, 8 (812) 320-80-40, i7p9h9@gmail.com

The paper present justification of the choice feature selection for detection oil slicks on the rough sea surface. It shows poor efficiency contrasting methods for large distance.

Обнаружение пленок нефти на морской поверхности является весьма актуальной экологической задачей, для решения которой в настоящее время используют различные технические средства дистанционного мониторинга (ТСДМ) природных сред (радиолокаторы, лидары, радиометры и др.).

Место размещения ТСДМ во многом определяет его тактико-технические характеристики (способ обзора пространства, дальность действия, разрешающая способность, вероятность обнаружения загрязнения и др.), так указанные средства могут размещаться на искусственных спутниках Земли, на самолетах, вертолетах, а также на беспилотных летательных аппаратах, на судах и береговых сооружениях.

Для задач экологического мониторинга морской поверхности чаще всего используют радиолокационные ТСДМ (радиолокаторы), т.к. они подтверждены наименьшему влиянию метеоусловий. Часто радиолокаторы комплексируют с другими ТСДМ для повышения вероятности обнаружения загрязнения и расширения диапазона контролируемых параметров загрязнения.

В 2009 году ассоциация NOFO (Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies) разработала и ввела стандарт, предписывающий судам сборщикам нефтепродуктов для обнаружения нефтяных разливов на поверхности моря иметь на борту радиолокатор с заданными тактико-техническими характеристиками, работающий в СВЧ-диапазоне.

На сегодняшний день фирмы-производители радиолокационных систем (Simrad, Nortek, Ritter и др.) для обнаружения нефтяных пятен на

морской поверхности снабжают традиционные навигационные судовые радиолокаторы специальными аппаратно-программными блоками, выполняющими анализ радиолокационного изображения (РЛИ) обследуемого участка морской поверхности.

Контраст по амплитуде эхо-сигналов от чистой морской поверхности и от морской поверхности с нефтяной пленкой является методической основой построения алгоритмов обработки РЛИ для обнаружения пленок нефти.

Однако такой подход не является оптимальным с точки зрения обеспечения максимальной дальности обнаружения пленок нефти, в [1] обосновывается необходимость создания специализированного радиолокатора для обнаружения пленок нефти на морской поверхности, в том числе и мономолекулярных, и формулируется задача определения его энергетического потенциала.

В [2] предлагается использовать многочастотный радар, работающий сразу в трех частотных диапазонах (С- S- и X-диапазоне), такой подход, по мнению авторов, дает возможность классификации снимков по категориям: ветровые снимки (штилевые пятна), снимки от внутренних волн и снимки пленок нефти.

Основной трудностью при обнаружении нефтяных пленок для малых углов скольжения представляет резкое уменьшение удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) морской поверхности при увеличении дальности до морской поверхности (рис. 1) начиная с некоторого значения R_n – переходной дальности, которая определяется простым соотношением:

$$R_n = 5h_a h_b / \lambda, \quad (1)$$

где h_a – высота установки антенны; h_b – средняя высота морских волн; λ – длина электромагнитной волны.

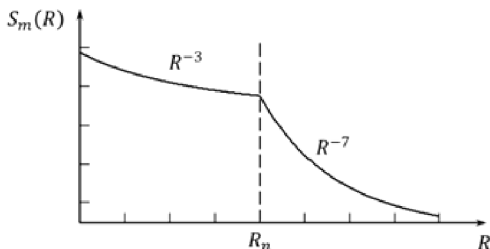


Рис. 1. Зависимость УЭПР морской поверхности от дальности

Таким образом, основными параметрами, влияющими на дальность обнаружения пленки нефти, являются высота установки антенны, длина электромагнитной волны и высота волн морской поверхности, которая, в общем случае, зависит от скорости ветра.

На небольших расстояниях величина УЭПР чистой поверхности по сравнению с УЭПР поверхности покрытой пленкой нефти будет существенно больше, что обеспечивает большой контраст по яркости, пропорциональной амплитуде эхо-сигналов, на РЛИ (рис. 2а), так яркость отметки от нефтяного пятна будет меньше яркости отметок от чистой морской поверхности (рис. 3), выступающих в качестве фона. С увеличением дальности контраст по яркости резко падает (рис. 2б), и распознать пленку нефти становится затруднительно.

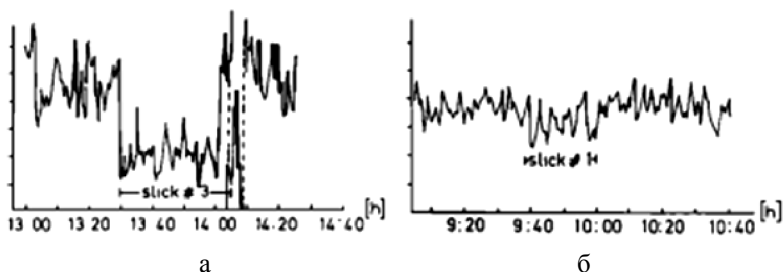


Рис. 2. Зависимость амплитуды эхо-сигнала от морской поверхности с нефтяным сликом от времени [4]

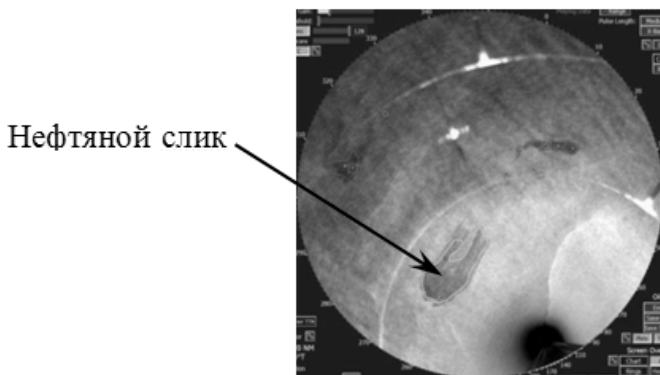


Рис. 3. РЛИ с нефтяным сликом

Таким образом, применение методов, основанных на выделении малоконтрастных областей на РЛИ для задачи обнаружения нефтяной пленки на морской поверхности недостаточно. При больших дальностях до морской поверхности, когда контраст по яркости небольшой, необходимо использовать другие информативные признаки.

В [5] показана возможность использование спектрального признака для обнаружения пленки нефти на морской поверхности, в частности, определять контраст по частотам из доплеровского спектра эхосигналов от морской поверхности, однако погрешности оценки доплеровского спектра затрудняют практическую реализацию.

Наиболее перспективным является алгоритм обнаружения на основе анализа зависимости УЭПР морской поверхности от времени использующий нейронные сети [3, 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонтьев В.В., Пименов А.А.**, Новая парадигма решения задачи радиолокационного обнаружения пленок нефти при скользящих углах облучения поверхности моря // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2015. Вып. 6. С. 46–48.

2. **Ермаков С. А., Сергиевская И. А., Гуцин Л. А.**, Пленки на морской поверхности и их дистанционное зондирование // с.86–98.

3. **Леонтьев В. В., Пименов А. А.**, Особенности построения нейронной сети в робастной радиолокационной системе классификации мономолекулярных пленок нефти на поверхности моря при горизонтальной поляризации электромагнитного поля // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2015. Вып. 6. С. 46–48.

4. **Huhnerfuss H. et al.** The modification of X and L band radar signals by monomolecular sea slicks // J. of geophys. research, 1983. Vol.88. P.9817-9822.

5. **Ермаков С. А. и др.** Об эффекте изменения доплеровских сдвигов частоты радиолокационных сигналов в присутствии органических пленок на морской поверхности // Доклады АН, 2003. т. 388, №1, с. 109–112.

6. **Игнатьева О. А., Леонтьев В. В., Пименов А. А.** Нейронная сеть как элемент робастной радиолокационной системы классификации мономолекулярных пленок нефти на поверхности моря // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 6. С. 49–53.

ОПУСКАНИЕ ВОД В ЭКМАНОВСКОМ СЛОЕ, НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ И ЕГО ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ В ВЕНТИЛЯЦИИ ЧЕРНОМОРСКОГО АЭРОБНОГО СЛОЯ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, dmelkin@mail.ru*

It is hypothesized that lowering the oxygen-containing water in the Ekman layer at the inclined bottom is one of the venting mechanisms for the aerobic part of the Black Sea pycnocline. The preliminary experiments to study this process in laboratory conditions are fulfilled.

Известно, что при наличии прибрежного морского течения, достигающего дна, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), интегральный перенос воды в котором происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае циклонического течения вдоль берега моря, или же антициклонической циркуляции вокруг острова, в ПЭС происходит перенос воды от берега, сопровождающийся в области шельфа и континентального склона ее опусканием по наклонному дну [2]. Устойчивая плотностная стратификация водной среды ограничивает глубину опускания вод в ПЭС. Достигая определенной глубины погружения, вода в ПЭС должна останавливаться и конвективным образом перемешиваться с вышележащими водами.

Цель данной работы – воспроизведение динамики ПЭС с опусканием стратифицированных вод на наклонном дне в лабораторных условиях и выполнение оценки глубины опускания применительно к черноморским условиям.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, сделанном из оргстекла, расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижним основанием на дне бассейна. В центре верхнего основания конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над этим отверстием осесимметрично расположен пустотелый цилиндр. В верхней части цилиндра

имеется щель, служащая кольцевым источником, через который из сосуда Мариотта в бассейн подается с постоянным расходом вода плотности ρ_1 : такой же, или меньшей, чем плотность ρ_0 воды в бассейне. Перед началом опыта бассейн заполнялся водой до уровня верхнего края кольцевого источника. Сосуд Мариотта заполнялся водой, подкрашенной тимоловым красителем. Поступающая в бассейн вода образует «прибрежное» (прижатое к боковой поверхности цилиндра) фронтальное течение, вид которого сверху и сбоку с помощью видеокамер. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки.

Было проведено две серии опытов. В опытах первой серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в баротропном случае ($\rho_1 \approx \rho_0$). Вода, поступающая из источника на поверхность конуса, изначально образовывала антициклоническое осесимметричное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Через некоторое время ширина слоя подкрашенной жидкости и связанного с ним прибрежного течения практически переставала расти, несмотря на продолжавшийся приток из источника. Стабилизация положения фронта подкрашенной жидкости была обусловлена с формированием в вязком ПЭС потока вниз по склону, выходящего со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя подкрашенной жидкости (рис. 1а).

Во второй серии ставилась задача определения закономерностей распространения ПЭС вниз по поверхности гладкого конуса в бароклинном случае ($\rho_1 < \rho_0$). Использовался размерный параметр: редуцированное ускорение силы тяжести $g' = g\Delta\rho/\rho$, где g – ускорение силы тяжести, $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_0$ – разница плотностей. Другими размерными параметрами являются расход источника Q , параметр Кориолиса f , кинематическая вязкость ν , которая была приблизительно постоянной. В этом случае, реализовывались два различных сценария эволюции фронтального течения.

В первом сценарии, при сравнительно небольшом $\Delta\rho$, наклонный фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС, в котором происходило опускание более легкой воды вниз по склону. Со временем, ПЭС испытывал конвективную неустойчивость: в нем формировались валиковые структуры, вытянутые в азимутальном направлении. Затем они распадались на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднималась вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости (рис. 1б, в).

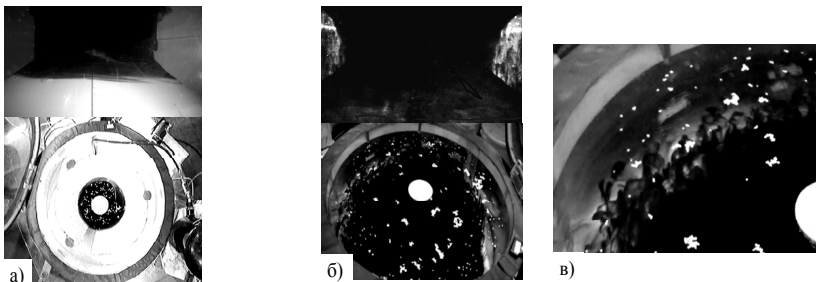


Рис. 1. а, б. Боковой вид (верхняя часть) и вид сверху (нижняя часть) структуры фронтального течения: а) $\rho_1 \approx \rho_0$; б) $g' = 0.28 \text{ см/с}^2$;
 в) Трехмерные конвективные структуры в случае $g' = 0.28 \text{ см/с}^2$.

Во втором сценарии при достаточно большом $\Delta\rho$ наклонный фронт течения не достигал поверхности конуса, и явления опускания более легкой жидкости в ПЭС не наблюдалось. При работающем источнике жидкость, заключенная внутри области прибрежного течения, росла непрерывно и распространялась радиально. Установлены критерии перехода от первого сценария ко второму [1].

Описанные выше опыты хорошо показывают механизм опускания более легкой жидкости в придонном экмановском слое. Этот механизм, по-видимому, часто «работает» в области бровки шельфа, и верхней части черноморского континентального склона. Условием, для его развития является прижатое к берегу Основное черноморское течение (ОЧТ). Такое условие реализуется с характерным периодом меандрирования ОЧТ, составляющим 5–15 суток [3]. При этом сильное северо-западное вдольбереговое течение, формирует вблизи дна ПЭС, в котором кислородосодержащая вода опускается на определенную глубину. Данные натурных измерений показывают, что продолжительность событий такого рода составляет 1–4 суток.

Расчеты с использованием теоретических представлений и данных натурных измерений позволяют оценить характерную глубину опускания вод в черноморском ПЭС. При угле наклона дна 5° , скорости вдольберегового течения северо-западного направления 50 см/с , значении параметра Кориолиса 10^{-4} с^{-1} , и частоты Вэйсяля Брента $N=1.4 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ и коэффициента придонного трения $C_b=1.5 \cdot 10^{-3}$ максимальная глубины опускания частицы в стратифицированном водном слое $H = 23 \text{ м}$. При этом частица пройдет путь вниз по склону $L = 260 \text{ м}$. После этого она остановится и будет захвачена вертикальным конвективным движением.

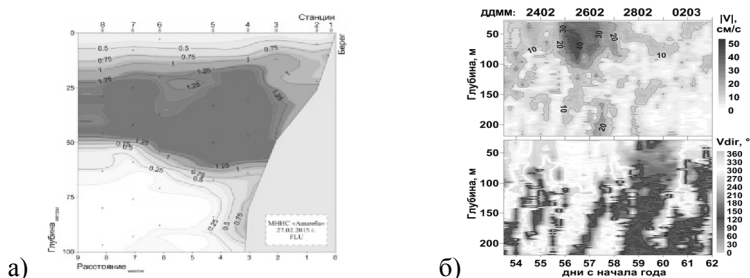


Рис. 2. Распределение: а) концентрации флуоресценции хлорофилла-*a*; б) модуля (вверху) и направления (внизу) скорости течения измеренной профилографом Аквалог в верхнем 100-м слое прибрежной зоны Черного моря; в период с 24 февраля по 2 марта 2015 г.

Хотя данная оценка имеет предварительный характер, она дает правильный порядок глубины опускания воды в черноморском ПЭС. На рис. 2а представляющем поперечный берегу разрез флуоресценции хлорофилла-*a*, являющегося пассивной примесью, хорошо видно опускание вод в придонном слое вблизи бровки шельфа, причем глубина опускания составляет 20–30 м. Данные зонда-профилографа «Аквалог» показывают, что в верхнем 100 м слое вод в этот период существовало течение северо-западного направления, скорость которого достигала 50 см/с (рис. 2б). Можно полагать, что наблюдаемое заглубление повышенных концентраций хлорофилла-*a* у дна обусловлена опусканием воды в ПЭС.

В дальнейшем целесообразно организовать исследование этого процесса и связанных с ним процессов перемешивания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ№14-50-00095.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.** Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // *Океанология*. 2017. №2 (в печати).

2. **Журбас В.М., Ох И.С., Парк Т.** Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с переходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 2. С. 189-196.

3. **Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В.** и др. О природе короткопериодных колебаний основного черноморского пикноклина, субмезомасштабных вихрях и реакции морской среды на катастрофический ливень 2012 г. // *ФАО*. 2013. №6. С.717–732.

МОРСКОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ЛИДАР ПЛД-1

Гольдин Ю.А.¹, Гуреев Б.А.¹, Родионов М.А.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-80-09,
goldin@ocean.ru*

² *Санкт-Петербургский филиал ИО РАН,
Ланское шоссе, 27, 197342, г. Санкт-Петербург,
8(812)271-54-76, maxim_rodionov@mail.ru*

The design and specifications of the new marine radiometric lidar PLD-1 are presented. Lidar is intended for the sea water column sounding, light-scattering layers and various nonhomogeneities registration. The laboratory and field tests were carried out.

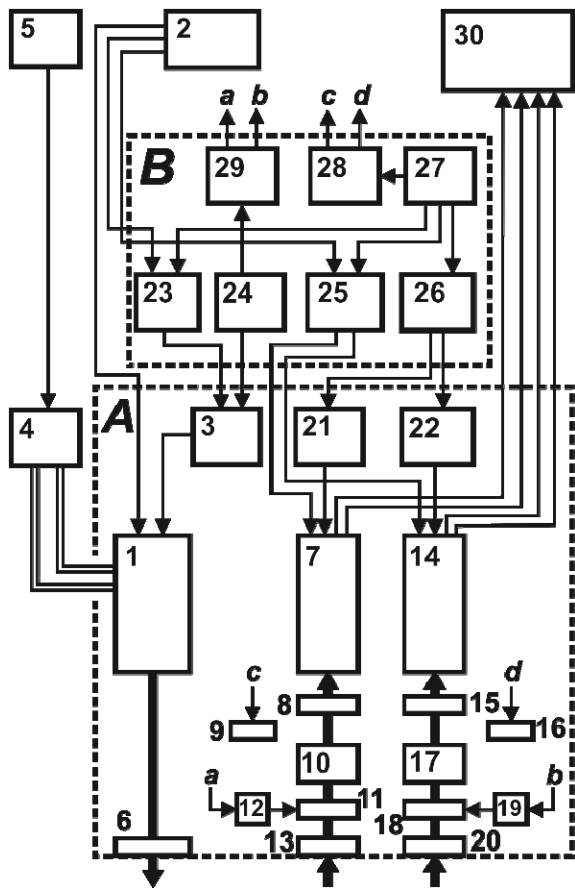
Создан морской радиометрический поляризационный лидар на базе гранатового лазера с диодной накачкой ПЛД-1.

ПЛД-1 предназначен для проведения лидарного зондирования приповерхностной толщи морской воды через поверхность раздела воздух-вода. Он позволяет выполнять зондирование стратифицированной толщи морской воды с целью определения параметров стратификации первичных гидрооптических характеристик (ПГХ), обнаруживать и определять параметры светорассеивающих слоев, регистрировать внутренние волны и оценивать их параметры, оценивать значения ПГХ однородных участков водной толщи.

Основной особенностью лидара ПЛД-1 является использование лазера с диодной накачкой. Это обеспечивает значительно больший по сравнению с ламповой накачкой ресурс работы, малогабаритность конструкции, высокую стабильность метрологических характеристик, и более низкий уровень электрических наводок. Последнее обстоятельство позволяет существенно повысить чувствительность лидара к неоднородностям в толще морской воды.

ПЛД-1 состоит из двух модулей – палубного и лабораторного. Палубный модуль размещается на верхней палубе судна непосредственно у борта. Модули соединяются кабелями длиной 10 м.

Блок-схема лидара ПЛД-1 показана на рис. 1.



1 – лазерный излучатель, 2 – ГИТ, 3 – БУЗ, 4 – БО, 5 – блок питания насоса, 6 – иллюминатор, 7, 14 – фотоприемники ко- и кросс-поляризованных эхосигналов, 8, 15 – интерференционные светофильтры, 9, 16 – светодиодные имитаторы, 10, 17 – входная оптическая система, 11, 18 – шторы, 12, 19 – электроприводы шторок, 13, 20 – поляриды, 21, 22 – источники высоковольтного напряжения, 23 – блок управления БУЗ, 24 – блок питания +24 В, 25 – генератор стробов, 26 – блок управления высоковольтными источниками, 27 – источник питания 12 В, 28 – блок управления имитаторами, 29 – блок управления шторками, 30 – четырехканальный цифровой осциллограф

Рис. 1. Блок-схема поляризационного лидара ПЛД-1. А – оптический блок. В – блок управления лидаром

В состав лазера входят излучатель (1), генератор импульсов тока (ГИТ) для питания светодиодных решеток (2), блок управления электронным затвором (БУЗ) (3), блок водяного охлаждения светодиодных решеток (БО) (4) и блок питания насоса БО (5). Из оптического блока зондирующее излучение выводится через кварцевый иллюминатор с просветляющим покрытием.(6).

Для приёма эхо-сигналов используется фотоприёмное устройство (ФПУ), включающее в себя два идентичных по конструкции фотоприёмника, предназначенных для регистрации двух компонент эхо-сигнала с взаимно ортогональными поляризациями: с исходной поляризацией (ко поляризованная компонента) (7) и ортогональной поляризацией (кросс-поляризованная компонента) (14). В качестве первичных фотоэлектронных преобразователей использованы фотоэлектронные умножители с высоким временным разрешением и малым последствием типа ФЭУ-115М. Непосредственно на входе каждого фотоприёмника установлен интерференционный светофильтр с максимумом пропускания на длине волны $\lambda = 532$ нм, отсекающий фоновое световое излучение (8,15).

В качестве приёмной оптической системы канала, принимающего ко-поляризованную компоненту эхо-сигнала, использован зеркальный объектив промышленного изготовления типа MC-3M-5CA (10). В канале, принимающем кросс-поляризованную компоненту эхо-сигнала, используется зеркальный объектив типа SAMYANG mirror-500mm 1:6.3 DX (17). Поляризационная селекция в каждом из каналов осуществляется с помощью соответствующим образом ориентированных пленочных поляроидов (13) и (20), установленных на входе приёмных оптических систем.

Питание ФЭУ осуществляется источниками высоковольтного напряжения (21,22), выполненными с использованием малогабаритных высоковольтных модулей PHV 12-2.0K2500N фирмы «Трасо Power».

Фотоприёмники работают в режиме стробирования чувствительности. Генератор (25) вырабатывает импульсы амплитудой +150 В длительностью 3 мкс. Синхронизация блока осуществляется от ГИТ. Блок обеспечивает включение чувствительности ФПУ, которые нормально заперты и должны «открываться» только на время прихода эхо-сигнала. Такой режим позволяет защитить ФЭУ и последующие электронные блоки приемного тракта от перегрузок постоянной оптической засветкой при работе в светлое время суток.

Аналоговые электрические сигналы с выходов ФПУ поступают на вход четырехканального широкополосного цифрового осциллографа

типа Teledyne LeCroy HDO 4034 (30). Для регистрации эхо-сигнала с каждого фотоприемника используются два канала осциллографа с разной чувствительностью. Менее чувствительный канал используется для регистрации начального участка эхо-сигнала. Более чувствительный канал – для регистрации дальнего участка спада с меньшими значениями амплитуд. Такая схема позволяет расширить динамический диапазон регистрации сигналов до 4–4,5 порядков.

Осциллограф используется для оцифровки сигналов, визуализации и долговременного хранения сигналов. Для проведения последующей обработки зарегистрированных сигналов и анализа данных измерений массив оцифрованных сигналов вводится в ПК.

Вид оптического блока лидара показан на рис. 2.



Рис. 2. Оптический блок лидара ПЛД-1 на палубе НИС

Лидар ПЛД-1 имеет следующие основные технические характеристики: длина волны зондирующего излучения 532 нм, энергия зондирующего импульса 20–40 мДж, длительность зондирующего импульса по уровню 0,5 7 нс, расходимость по уровню 80% энергии 3 мрад, поляризация зондирующего излучения линейная, частота зондирования (регулируется) 0,5–20 Гц, световой диаметр приемной оптической системы первого канала 63 мм, световой диаметр приемной оптической системы второго канала 90 мм, угол поля зрения оптических систем первого и второго каналов 2 град, длительность импульсной функции измерительной системы по полувысоте 10,8 нс, аналоговая полоса пропускания регистрирующей системы 350 МГц, время нарастания сигнала регистрирующей системы при нагрузке 50 Ом 1 нс, разрешение АЦП по вертикали 12 бит, частота дискретизации АЦП 2,5 ГГц.

Питание лидара осуществляется от однофазной сети 220 В 50 Гц. Потребляемая мощность не более 1,0 кВт.

Лабораторные и натурные испытания лидара ПЛД-1 показали, что он может быть использован для проведения исследований в реальных условиях, в том числе для проведения многочасовых циклов измерений.

УДК 531.756

НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Федотов Г.А.

*АО «Морские неакустические комплексы и системы»,
Октябрьская наб., 6, 193091, Санкт-Петербург, Россия.*

*Тел.: +7(812)676-33-99, факс +7(812)676-32-52,
g.a.fedotov@gmail.com*

Some theoretical estimations of an accuracy of the sea water density determination by the new modification of a hydrostatic method are made. It is shown that the accuracy strongly depends on the pressure sensor configuration forming the measuring instrument.

Разработка и совершенствование методов и средств измерения плотности морской воды традиционно является одной из актуальных про-

блем океанологии [1]. В настоящей работе продолжены исследования новой модификации гидростатического метода определения плотности жидкости, начатые в [2, 3]. Цель работы – получить выражения, позволяющие оценить точность определения плотности морской воды ρ предложенным в [2] методом в условиях неопределенной пространственной ориентации гидростатического измерителя.

В качестве источника ошибки определения ρ рассмотрена величина ΔG – погрешность определения величины $G \equiv |\text{grad}P|$ (модуля вектора градиента гидростатического давления в воде), входящей в рабочую формулу метода $\rho = G/g$ (где \vec{g} – вектор ускорения свободного падения) при условии неконтролируемого изменения ориентации измерителя в поле силы тяжести.

Рассмотрим для определенности гидростатический измеритель, образованный четырьмя датчиками давления, расположенными в вершинах правильной треугольной пирамиды (рис. 1). Величина G определяется путем совместной обработки сигналов P_i ($i=0, 1, 2, 3$) датчиков давления согласно предложенному в [3] алгоритму:

$$G = \sqrt{\frac{(1+c)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - 2c(b_1b_2 + b_1b_3 + b_2b_3)}{(1-c)(1+2c)}}. \quad (1)$$

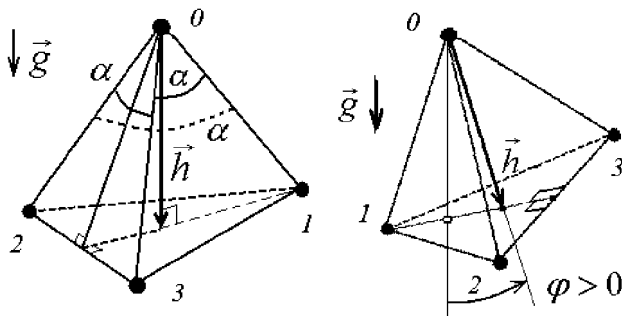


Рис. 1. Идеальная (слева) и неидеальная (справа) ориентация системы датчиков давления в поле силы тяжести

Здесь $b_i = (P_i - P_0)/l$, l – расстояние между нулевым и тремя остальными датчиками (длина бокового ребра пирамиды), α – угол при вершине пирамиды, $c = \cos\alpha$. Пусть также, ради наглядности, погрешности вели-

чин b_i одинаковы для всех трех пар датчиков давления и равны Δb . Тогда, согласно [3], $\Delta G = F(\varphi)\Delta b$, где

$$F(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{1+2c}} \sqrt{1 + \frac{3c}{1-c} \sin^2 \varphi}. \quad (2)$$

Выходной сигнал системы датчиков давления (величина G) не зависит от ориентации этой системы в поле \vec{g} , но погрешность этого сигнала (величина ΔG) – зависит. Пусть угол наклона системы (угол φ на рис. 1) изменяется неизвестным неконтролируемым образом, но плотность вероятности распределения угла наклона $w(\varphi)$ известна. Примем для оценок

$$w(\varphi) = \begin{cases} (1/2) \cos \varphi; & -\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2. \\ 0; & \pi/2 < |\varphi| < \pi. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда погрешность определения величины G можно оценить путем осреднения по углу: $\langle \Delta G \rangle = \langle F(\varphi) \rangle \Delta b$, а зависимость погрешности определения градиента давления от конфигурации датчиков – охарактеризовать функцией $\Phi(\alpha)$:

$$\Phi(\alpha) = \frac{\langle \Delta G \rangle}{\Delta b} = \langle F(\varphi) \rangle = \int_{-\pi}^{\pi} F(\varphi) w(\varphi) d\varphi. \quad (4)$$

Можно показать, что для рассматриваемых здесь модельных функций $F(\varphi)$ и $w(\varphi)$, представленных выражениями (2) и (3), интегрирование согласно формуле (4) приводит к следующим соотношениям для функции $\Phi(\alpha)$:

$$\Phi(\alpha) = \begin{cases} \Phi_1(\alpha); & 0^\circ < \alpha \leq 90^\circ; \\ \Phi_2(\alpha); & 90^\circ \leq \alpha < 120^\circ; \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\Phi_1(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1-c}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1-c}{3c(1+2c)}} \ln \left| \frac{\sqrt{1+2c} + \sqrt{3c}}{\sqrt{1+2c} - \sqrt{3c}} \right| \right]; \quad (6)$$

$$\Phi_2(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1-c}} + \sqrt{-\frac{1-c}{3c(1+2c)}} \arcsin \sqrt{-\frac{3c}{1-c}} \right]. \quad (7)$$

Графики функции $\Phi(\alpha)$ приведены на рис. 2 и рис. 3.

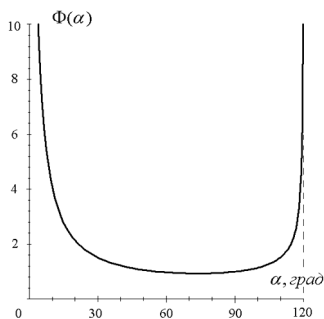


Рис. 2. График функции, характеризующей зависимость погрешности определения градиента давления от конфигурации датчиков, образующих систему

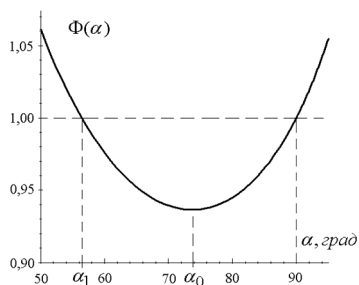


Рис. 3. Фрагмент графика, представленного на рис. 3.
 $\alpha_1 \approx 56^\circ$, $\alpha_0 \approx 74^\circ$

Из полученных соотношений следует, что точность определения модуля градиента давления, а, следовательно, и плотности морской среды, сильно зависит от конфигурации датчиков, образующих систему. Полученные данные могут служить основой для рационального выбора конфигурации датчиков давления, формирующих гидростатический измеритель, с учетом конструктивных особенностей гидрофизической системы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д.** и др. Океанология: средства и методы океанологических исследований. Междунар. ассоц. акад. наук, РАН, НАНУ. М.: Наука, 2005. 795 с.
2. **Федотов Г.А.** Новая модификация гидростатического метода определения плотности морской воды // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 2013. Том 6. №1. С.58–65.
3. **Федотов Г.А.** О точности определения плотности морской воды с помощью новой модификации гидростатического метода.// *Труды 13-й Всероссийской конференции “Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики” (ГА-2016)*. Санкт-Петербург: Изд-во СПбНЦ РАН. 24–26 мая 2016 г. С. 205–208.

**ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ
СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
БАРОКЛИННОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПЛОТНОСТИ НА
ШИРИНУ ГОЛЬФСТРИМА**

Дианский Н.А.^{1,2,3}

¹ *Институт вычислительной математики РАН,
ул. Губкина, 8, 119333, г. Москва, 8(495)989-80-24,
nikolay.diansky@gmail.com*

² *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8(499)246-72-88.*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, 119991, г. Москва, 8(495)939-10-00.*

Using the eddy-resolving version of Institute of Numerical Mathematics Ocean Model (INMOM), Gulf Stream parameters are simulated by means of diagnoz-adaptation method. In terms of two-layer presentation, it was shown that Gulf Stream width fits to the minimum of sum of kinetic and available potential energies in its front area.

Проведены численные эксперименты по расчету циркуляции Северной Атлантики с помощью вихреразрешающей σ -модели океана INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [1], с пространственным разрешением $0.16^\circ \times 0.08^\circ$ по долготе и широте. Глобальная версия INMOM с более грубым пространственным разрешением используется в качестве океанического компонента модели климатической системы INMCM (Institute of Numerical Mathematics Climate Model [1-3]. Кроме того, глобальной INMOM единственная из сигма-моделей в мире использовалась для расчётов по программе сравнения CORE-II (Coordinated Ocean-ice Reference Experiments, Phase II) [4-7]. С ее помощью проведены также исследования климатической изменчивости Северной Атлантики [8, 9].

В представленных экспериментах воспроизведен струйный характер Гольфстрима со скоростями течений, превышающими 1.5 м/с. Продемонстрировано меандрирование Гольфстрима и сопутствующее ему вихреобразование.

С помощью метода диагноза–адаптации А.С. Саркисяна смоделирован физический процесс обострения фронта Гольфстрима, начиная с «размытого» поля средней плотности по данным Левитуса. При этом происходит интенсификация Гольфстрима с увеличением скорости от 0.7 м/с до более чем 1.5 м/с, и уменьшением его ширины от ~300 км до ~100 км.

На основе идеализированного представления фронта Гольфстрима в виде двухслойной жидкости проведены аналитические оценки изменения потенциальной и кинетической энергии при обострении фронта. При этом параметры двухслойности океана в области Гольфстрима выбираются путем аппроксимации реальной стратификации термохалинного состояния в Северной Атлантике. Показано, что интенсификация Гольфстрима сопровождается увеличением его кинетической энергии, а источником этого увеличения служит доступная потенциальная энергия, запасенная в бароклинной стратификации плотности в области Гольфстрима. При этом ширина Гольфстрима приблизительно в 100 км соответствует минимуму суммы кинетической и доступной потенциальной энергий в области его фронта.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 15-05-07539).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дианский Н.А.** Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М.:Физматлит, 2013. 272 с.
2. **Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В.** Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM4.0 // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2010. – Т. 46. – № 4. – С. 448–466.
3. **Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В.** Воспроизведение и прогноз климатических изменений в XIX–XXI веках с помощью модели земной климатической системы ИВМ РАН // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2013. – Т. 49. – № 4. – С. 379–400.
4. **Danabasoglu G., Yeager S.G., Bailey D., et al.** North Atlantic simulations in Coordinated Ocean- ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part I: Mean states // Ocean Modelling. – 2014. – V. 73. – P. 76-107.
5. **Danabasoglu G., Yeager S.G., Kim W.M. et al.** North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part II: Inter-annual to decadal variability // Ocean Modelling. – 2016. – V. 97. – P. 65-90.

6. **Downes S.M., Farneti R., Uotila P. et al.** An assessment of Southern Ocean water masses and sea ice during 1988–2007 in a suite of interannual CORE-II simulations // *Ocean Modelling*. – 2015. – V. 94. – P. 67–94.

7. **Farneti R., Downes S.M., Griffies S.M. et al.** An assessment of Antarctic Circumpolar Current and Southern Ocean Meridional Overturning Circulation during 1958–2007 in a suite of interannual CORE-II simulations // *Ocean Modelling*. – 2015. – V. 93. – P. 84–120.

8. **Гусев А.В., Дианский Н.А.** Воспроизведение циркуляции Мирового океана и ее климатической изменчивости в 1948–2007 гг. с помощью модели INMOM // *Изв. РАН. Физ. атм. и океана*. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 3–15.

9. **Дианский Н.А., Гусев А.В.** Моделирование процесса изменения климата и современного замедления глобального потепления с помощью модели INMOM // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2015. – № 1. – С. 96–118.

УДК 551.326.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕЙФА АЙСБЕРГОВ В ЗАПАДНЫХ МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Панасенкова И.И.¹, Фомин В.В.¹, Дианский Н.А.^{1,2}

¹ *Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова»,
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8 (499) 246-72-88,
adm@oceanography.ru*

² *Институт Вычислительной Математики РАН, ул. Губкина, 8, 119333,
г. Москва, 8 (495) 984-81-20, director@mail.inm.ras.ru*

Iceberg drift model which has been developed in the State Oceanographic Institute (SOI) is presented in this paper. The model was forced by metocean data from Institute of Numerical Mathematics Ocean Model (INMOM), The Weather Research and Forecasting model (WRF) and the model was forced by field data collected in annual cruise of RV Lance in the beginning of May 2009 in the Barents Sea.

Представлена разработанная в ФГБУ «ГОИН» (Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова») модель дрейфа айсбергов. Калибровка и отладка модели производилась по данным об айсберге, который дрейфовал в Баренцевом море в начале мая 2009 г. Выбор этого айсберга для отладки модели был обусловлен возможностью использования попутных судовых наблюдений (натурных наблюдений за ветром и течениями по глубине) на период его дрейфа. Данные об айсберге, его траектории дрейфа, а также о попутных измерениях гидрометеорологических характеристик были получены в рамках научно-исследовательской экспедиции, проведенной в 2009 году в северо-западной части Баренцева моря на судне RV Lance с 29 апреля по 8 мая [1].

Представленная модель дрейфа айсберга основана на развитии модели из работы [2], как наиболее физически полной, обобщающей достижения предыдущих моделей. В основе модели дрейфа лежит уравнение движения, описывающее дрейф айсберга, которое записывается в следующем виде:

$$m_i \frac{d\vec{V}_i}{dt} = -m_i \vec{f} \times \vec{V}_i + \vec{F}_a + \vec{F}_w + \vec{F}_r + \vec{F}_p + \vec{F}_{si}, \quad (1)$$

где m_i и \vec{V}_i – масса и скорость айсберга, \vec{f} – параметр Кориолиса, члены в правой части уравнения представляют собой $-m_i \vec{f} \times \vec{V}_i$ – силу Кориолиса, \vec{F}_a – воздействие ветра, \vec{F}_w – воздействие течений, \vec{F}_r – воздействие волнения, \vec{F}_p – силу градиента давления, обусловленную перекосом уровня моря, и \vec{F}_{si} – сила со стороны льда.

Дрейф айсбергов рассчитывается как перенос Лагранжевой частицы по рассчитываемым через ускорение скоростям его движения. Все необходимые для вычисления ускорения воздействия в уравнении (1) интерполируются в точку с текущими координатами айсберга.

При численном моделировании дрейфа айсбергов использовались два массива исходных данных: попутные судовые измерения гидрометеорологических характеристик, а также поля гидрометеорологических характеристик, полученные по результатам расчета вычислительного комплекса ФГБУ «ГОИН». Основу вычислительного комплекса расчета термогидродинамических (гидрологических) характеристик, включая поля течений, уровня моря, температуры, солёности и морского льда, составляет российская модель океанической морской циркуляции INMOM Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) [3] с пространственным разрешением ~2,5 км, разработанная в ИВМ РАН (Институт

вычислительной математики Российской академии наук). Расчет атмосферного воздействия (метеорологических характеристик) проводится по региональной негидростатической модели атмосферной циркуляции WRF (The Weather Research and Forecasting model) [4]. Для расчета волновых характеристик в вычислительный комплекс включена волновая модель РАВМ (Российская Атмосферно-Волновая модель) [5].

Моделирование дрейфа айсбергов проводилось в несколько этапов. На первом этапе проводилась отладка модели дрейфа айсбергов. Оптимальные значения параметров модели выбирались путем выполнения серии одиночных расчетов с использованием в качестве исходных данных результатов расчетов вычислительного комплекса ФГБУ «ГОИН». Форма айсберга считалась цилиндрической с диаметром 100 м, высотой надводной части – 7 м и высотой подводной части – 63 м. Так, после серии экспериментов были подобраны коэффициенты $C_a = 2.6$ и $C_w = 0.2$, при которых полученная модельная траектория наиболее хорошо совпадает с данными наблюдений, и расстояние между конечными точками траекторий минимально. На рис. 1 представлены результаты численного моделирования.

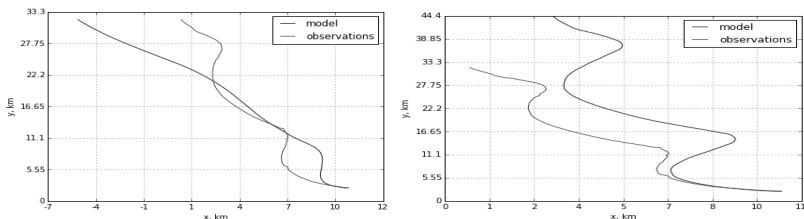


Рис. 1. Результаты численного моделирования дрейфа айсберга: зеленым цветом выделены данные наблюдений, синим слева – модельная траектория с коэффициентами сопротивления $C_a = 2.6$, $C_w = 0.2$, синим справа – модельная траектория с коэффициентами сопротивления $C_a = 1.3$, $C_w = 0.9$, полученная с использованием данных попутных наблюдений

В модели дрейфа айсберга наряду с одиночным моделированием и попытками определения оптимальных параметров было использовано вероятностное моделирование. Для прогноза наиболее вероятной траектории дрейфа айсберга использовался генетический алгоритм. Генетический алгоритм является эвристическим алгоритмом поиска, который существенно упрощает задачу подбора оптимальных параметров дрейфа

айсбергов. На рис. 2 представлены результаты расчетов с использованием генетического алгоритма. В качестве исходных данных были использованы попутные измерения. В уравнении движения участвовали силы воздействия со стороны ветра и течений, и сила Кориолиса (аналогично силам в статье [1]).

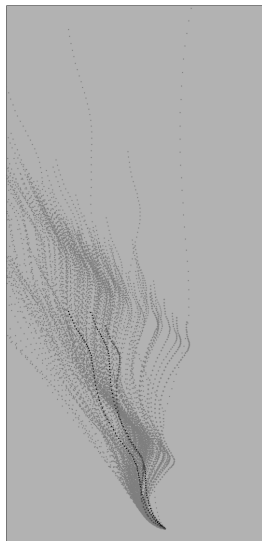


Рис. 2. Генетический алгоритм для прогноза траекторий дрейфа: серым цветом показано множество траекторий, черным – серия наиболее хорошо соответствующих данным наблюдений траекторий, красная траектория – данные наблюдений

Результаты расчетов показывают, что при различных комбинациях коэффициентов сопротивления и изменении отношения высот надводной и подводной частей айсберга траектория движения существенно не изменяется. Характер движения модельных траекторий соответствует наблюдаемой траектории. Минимальная модельная ошибка в конце рассматриваемого периода дрейфа равна 2.87 км, коэффициент сопротивления $C_a = 0.2$, $C_w = 1.7$, отношение подводной части к надводной

части айсберга равно 2:1.

В целом, результаты расчетов показали хорошее соответствие наблюдаемой и модельной траекторий. Более того, при выборе оптимальных параметров модели ошибка результатов моделирования с использованием в качестве исходной информации данных о гидрометеорологических характеристиках на основе моделей WRF, INMOM, PAMM в определении местоположения айсберга оказалась меньше, чем при использовании попутных судовых наблюдений. Результаты калибровки и апробации модели показали корректность численной реализации модели, а также возможность ее использования при моделировании и прогнозировании реальных траекторией дрейфа айсберга.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 15-55-20003). Авторы также выражают благодарность А.В.Марченко за предоставленные натурные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Marchenko A., Kulyakhtin A., Eik K.** Icebergs drift in the Barents Sea: data analysis of ice tracking buoy and numerical simulations // 20th IAHN International Symposium on Ice, 2010.
2. **Martin T., Adcroft A.** Parametrisation of the fresh-water flux from land ice to ocean with interactive icebergs in a coupled climate model // Ocean modeling. 2010
3. **Дианский Н.А.** Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М.:Физматлит, 2013. 272 с.
4. **Skamarock W.C.** et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Notes. 2008.
5. **Кабатченко И.М., Матушевский Г.В., Резников М.В., Заславский М.М.** Моделирование ветра и волн при вторичных термических циклонах на Черном море // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 61–71.

УДК 551.465.48

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТКИ С ЛОКАЛЬНЫМ УЛУЧШЕНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Мизюк А.И.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь*

Тел./факс: 8 8692 54 52 41

E-mail: artem.mizyuk@yandex.ru

The proposed paper presents results of the circulation modeling in the joint system of southern seas (Azov, Black, Marmara) using the local resolution refinement grid. The focuses of the grid proposed are implemented in the straits of Bosphorus and Kerch. The results of simulation are discussed.

Доклад посвящен моделированию циркуляции вод в системе южных морей (Азовское, Черное, Мраморное) с применением сетки с локальным улучшением пространственного разрешения (с фокусом) на основе

междисциплинарной модели NEMO [0]. Использование криволинейной сетки допускается в модельном комплексе и достигается за счет численного решения примитивных уравнений записанных в локальной декартовой систем координат с учетом коэффициентов Ламе. Сетка строится посредством свободно распространяемого программного обеспечения `gridgen`, разработанного П. Саковым (<https://github.com/sakov/gridgen-c>). Фокусы сетки реализуются непрерывной аналитической функцией и расположены в областях с проливами (рис. 1). Топография дна для конфигурации была построена на основе открытого массива проекта EMODNet (<http://www.emodnet-hydrography.eu>). Такой выбор обусловлен весьма высоким пространственным разрешением, наличием данных во всех отмеченных бассейнах, а также удовлетворительными результатами сопоставления данного массива с массивом работы [0], что нехарактерно для глубоководной части открытых массивов батиметрии GEBCO и ETOPO. Топография была сглажена простым 9-точечным фильтром для уменьшения параметра шероховатости.

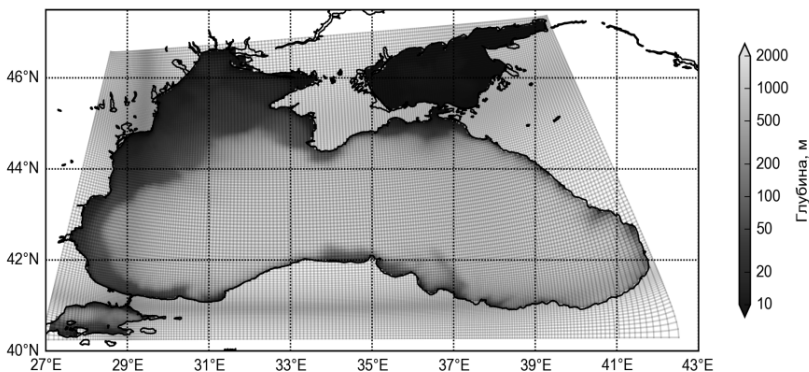


Рис. 1. Топография (м) региональной конфигурации (цветом) с локальным увеличением разрешения (эквидистантная цилиндрическая проекция). Серыми – ячейки сетки «Т»

При построении сетки размеры ячеек в областях проливов позволили их практически явное разрешение. В зоне Керченского пролива достигается разрешение $\approx 3,5$ км. В области Босфора разрешение весьма грубое (≈ 2 км) по сравнению его характерным поперечным размером. По-

этому в численных экспериментах в этой области корректировался коэффициент горизонтальной диффузии.

Одним из минусов построенных таким образом сеток является наличие зон с грубым разрешением вследствие использования аналитических функций для получения достаточно гладкого изменения размеров в зоне фокуса. Однако, он может быть устранен посредством увеличения общего числа ячеек расчетной сетки. Размер приведенного домена составил 220×140 точек. Для сравнения: оперативная модель Центра морских прогнозов Морского гидрофизического институт РАН имеет размер 238×132 при разрешении 5 км.

В докладе обсуждаются результаты численного моделирования в конфигурации модели, использующей приведенную сетку. В полях термохалинных характеристик хорошо выражен водообмен между бассейнами морей. Пример обмена через Керченский пролив и пролив Босфор демонстрирует рис. 2. Как видно, масса вод Азовского моря переносится струей ОЧТ в сторону Крымского полуострова и далее. В бассейне Мраморного моря наблюдаются воды черноморского происхождения.

Работа выполнена в рамках проекта Государственной программы развития науки и технологий РФ до 2020 года «Оперативная океанография».

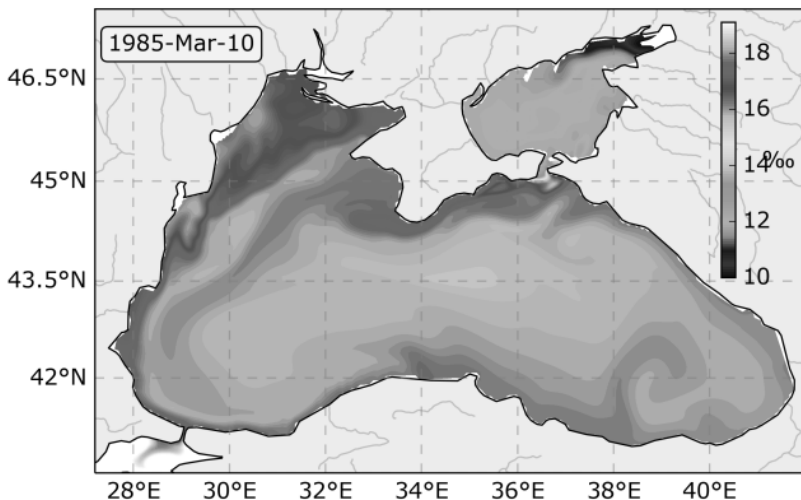


Рис. 2. Поверхностная соленость по результатам численного моделирования циркуляции в марте модельного года

ЛИТЕРАТУРА

1. **Madec G.** NEMO reference manual, ocean dynamics component /G. Madec // Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2008. P.1288-1619.

2. **Авдеев А.И.** Разработка методологии исследования рельефа дна Черного моря и его влияние на процессы, протекающие в зоне сопряжения суша–море /А.И. Авдеев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2001. – Т. 4. – С. 179–187.

УДК 551.466

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ ЛОМОНОСОВА КАК СВИДЕТЕЛЬСТВО ЕГО СТАТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Демидова Т.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
tademidova@ocean.ru*

Thermohaline and velocity field structure of the Lomonosov undercurrent, from data collected during five its crossing by R/V Akademik Sergey Vavilov, as well as from historical data is analyzed. High negative salinity gradients, development of thin structures and density parameter estimates confirm the reality of noticeable contribution of static instability to mixing in areas under the EUC halocline

По данным наблюдений течения Ломоносова в центральной и западной Атлантике, во время регулярных переходов нис АСВ через экватор (2014–2016 гг.), и по историческим данным анализируется вертикальная структура термохалинных параметров и ее связь с распределением скорости в подповерхностном слое до глубины 600–800 м. Разрезы скорости и изменчивость положения ядра в зависимости от сезона наблюдений обсуждается в [1 – Демидова, Фрей, наст. сборник]. Максимумы солености (у нас 36,87 psu) практически совпадают по глубине с максимумами скоростей в ядре противотечения, и профили скорости и соле-

ности хорошо коррелируют между собой. *Структура галоклина следует широтным закономерностям, установленным для потока – смещение ядра и термоклина к поверхности с запада на восток и соответствующего снижения его интенсивности.* Высокосоленые воды ядра, перемещающиеся со значительной скоростью, подстилаются водой относительно низкой солености 35,5 psu. В результате возникают высокие вертикальные градиенты солености и создаются локальные условия для развития процессов двойной диффузии. Особенности развития тонкой структуры разных масштабов и полученные оценки плотностного соотношения $R=\eta/\zeta$ и его составляющих по профилям через ядро течения Ломоносова подтверждают предположения о неустойчивом характере водной массы. Все это свидетельствует о реальности заметного вклада неустойчивости статического типа в процессы перемешивания на участках ниже верхнего галоклина (под ядром течения). Этот вклад может быть соизмерим с перемешиванием по сдвиговому типу, широко обсуждаемым в литературе для течения Ломоносова и может являться важным фактором перераспределения соли в экваториальной и тропической Атлантике в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Демидова Т.А., Фрей Д.И.** Об изменчивости течения Ломоносова по данным попутных измерений. В: Современные методы и средства Океанологических исследований (МСОИ-2017). Материалы конференции.

О ПОЛЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЛОМОНОСОВА ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Демидова Т.А., Фрей Д.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
tademidova@ocean.ru*

Horizontal velocity sections of the Lomonosov undercurrent (EUC) as inferred from ADCP data acquired in five regular “on way” cruises crossing the central and western Atlantic equatorial region in 2014-2016 in spring and fall by R/V “Akademik Sergey Vavilov”, is presented. It is shown that such on-way observations, together with historical data, provide valuable contribution in better understanding of structure and intensity of EUC, its seasonal variations and mixing processes.

Измерения скоростей судовым доплеровским акустическим профилографом ADCP OS-75 фирмы RDI-Teledyn на частоте 76,8 кГц (далее sADCP) при пересечении экватора в центральной и западной Атлантике проводятся в попутном режиме с весны 2014 года по маршруту следования нис Академик Сергей Вавилов. Весной судно идет с юга на север, а осенью – с севера на юг. Измерения проводятся на скорости судна 6–10 узлов и охватывают глубины приблизительно от 30 до 600–800 м с разрешением по глубине от 8 до 16 м. К настоящему времени (2014–2016 гг.) выполнено пять пересечений. Измерения sADCP сопровождались отдельными СТД-зондированиями и профилями скорости с погружным Ladcpr в районе течения до глубины 1500 м. В связи с попутным характером работ, особое внимание уделялось точности полученных данных и методическим вопросам. При наличии данных судового и погружного профилографов, результаты по скоростям комбинировались для повышения точности и лучшего горизонтального разрешения sADCP-измерений с использованием повышенного в несколько раз весового коэффициента для sADCP.

Для изучения структуры течения Ломоносова в разные сезоны построены вертикальные разрезы зональной и меридиональной компонент скорости (рис. 1). Поскольку данные СТД-зондирований были не для

всех пересечений, вертикальные разрезы скорости строились и анализировались в координатах глубины, а не в обычных для подобных случаев изопикнических координатах [1]. Координаты глубины использовались и для определения границ потока при оценке переноса. Влияние приливного течения на оценки переноса изучено по глобальной модели Орегонского Университета на основе спутниковой альтиметрии [2]. Максимальные скорости приливов (2–3 см/с) были в пределах уровня точности данных АДСР и поэтому не вносили какого-либо заметного вклада в значения объемного транспорта течения Ломоносова.

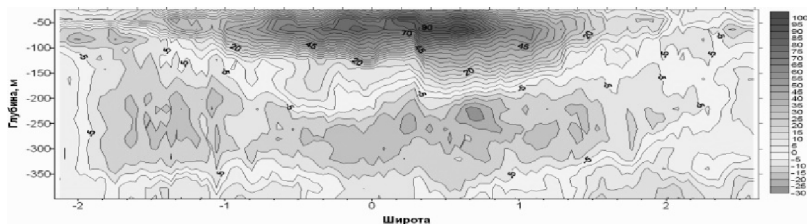


Рис. 1. Пример. Разрез зональной скорости через течение Ломоносова в центральной Атлантике 17 апреля 2014 года (38-й рейс)

Основные результаты, приведенные в докладе, соответствуют поставленным при попутных работах задачам, и включают: 1) оценку интенсивности течений и пространственного положения потока и его фронтов по глубине и относительно экватора и их изменчивость во времени; 2) оценку объемов переноса и его изменчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Mercier H., Arhan M., Lutjeharms J.** Upper-layer circulation in the eastern Equatorial and South Atlantic Ocean in January–March 1995, Deep-Sea Research I 50, 2003, 863–887.
2. **Egbert G.D., Erofeeva S.** Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides // J. Atmos. Ocean Tech. 2002. V. 19. P. 183–204.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН С
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ
ОБУСЛОВЛЕННОЙ ИНТРУЗИЕЙ**

Полетаева М.А.

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
Тел.: +7 812 415-46-07, Факс: +7 812 727-96-32
krylov@krylov.spb.ru*

Results of laboratory measurements of the influence of horizontal density gradients on the mechanism of transformation of internal waves are described. The experiments in the laboratory of "Krylov State Research Center" using the optical schlieren method of visualization were performed.

Одно из основных исходных положений, применяемых в теоретических исследованиях внутренних волн [1] в океане и в анализе данных натурных измерений внутренних волн, состоит в рассмотрении устойчивой плотностной стратификации морской воды только по глубине при условии горизонтальной плотностной однородности водных масс. Такое допущение в большинстве районов океана оказывается оправданным вследствие существенно меньшей горизонтальной изменчивостью поля плотности по сравнению с вертикальными градиентами плотности, определяемыми изменением температуры и солёности морской воды.

Однако распределение плотности воды в океане имеет сложную пространственную структуру. Устойчивое вертикальное распределение плотности определяет условия возникновения гравитационных внутренних волн, а их распространение определяется пространственным распределением плотности, в том числе горизонтальными градиентами.

Для исследования механизмов трансформации волновых процессов в ФГУП «крыловский государственный научный центр» была проведена серия экспериментальных исследований распространения внутренних волн в горизонтально неоднородной по плотности среде.

Эксперименты выполнены в стратифицированном лотке, в боковые стенки которого были вмонтированы оптические стекла заподлицо с

внутренней поверхностью лотка. Размеры лотка: длина – 213 см, ширина 13 см, глубина 35 см.

В качестве генератора внутренних волн использован кулисный механизм, к которому непосредственно крепился волнопродуктор в виде пластины с закругленными концами.

В экспериментах использовался цветной шпирен метод [3, 4]. Волновые возмущения создавались колебаниями цилиндра с заданной частотой и амплитудой.

Для создания горизонтально неоднородного распределения плотности в лотке использовалась методика интрузии жидкости повышенной плотности в исходную устойчиво стратифицированную по вертикальной координате и однородную по продольной оси бассейна среду. С помощью специального плоского сопла, имеющего ширину, равную ширине лотка, и высоту отверстия 2 мм, подавался солевой раствор с большей концентрацией солености. В результате на определённом участке по длине лотка формируется область горизонтально неоднородной жидкости.

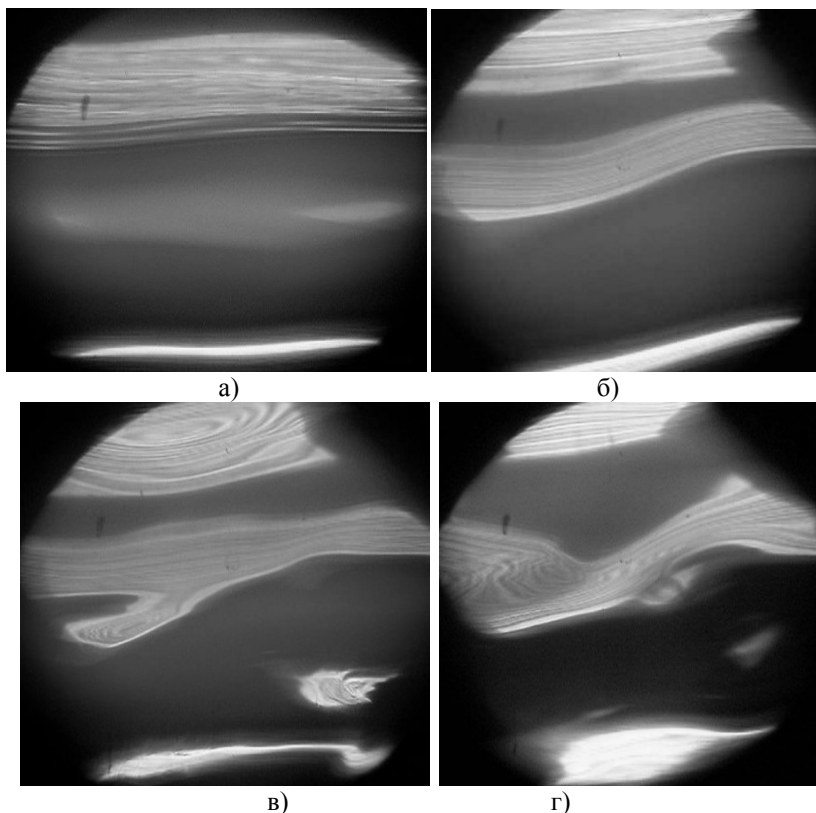
После окончательного торможения интрузии и выполнения контроля горизонтального градиента плотности начинал свою работу волнопродуктор, создающий волновые возмущения с заданным исходными фазовыми и амплитудными параметрами. Одновременно проводилась регистрация теневых картин внутренних волн.

Результаты лабораторных экспериментов, выполненных с применением цветного шпирен метода, показывают рост амплитуд внутренних волн в горизонтально неоднородной стратифицированной по плотности среде.

На рис. 2 приведены последовательные во времени картины развития внутренних волн в стратифицированной среде с горизонтальной неоднородностью по плотности.

Рис. 2а демонстрирует длинные внутренние волны малой амплитуды в горизонтально однородной среде. В горизонтально неоднородной среде при том же режиме генерации внутренних волн, представленных на рис. 2а и одинаковых условиях вертикальной стратификации воды в опытовом бассейне, амплитуды внутренних волн начинают возрастать (рис. 2б). В данном случае их рост составляет ~200%. Развитие процесса приводит к появлению признаков обрушения внутренних волн и возникновению вихревых структур (рис. 2 в, г).

В ходе экспериментов в стратифицированном лотке получены следующие результаты:



а – длинные внутренние волны в горизонтально однородной среде; б – рост амплитуд внутренних волн; в – обрушение внутренних волн; г – вихревые структуры в поле внутренних волн
 Рис. 2 – Развитие внутренних волн в горизонтально неоднородной среде

– горизонтальная неоднородность плотности, создаваемая методом интрузии растворов повышенной плотности в исходную стратифицированную жидкость, сохраняется достаточно долго для проведения измерений внутренних волн, генерируемых в каждом отдельном режиме работы волнопродуктора,

– горизонтальная неоднородность плотности, создаваемая интрузией, достигает высоких значений, сопоставимых в отдельных областях с характеристиками вертикальной неоднородности,

– генерируемые в экспериментах внутренние волны характеризуются низкими волновыми модами, что позволяет их надежно регистрировать методами визуализации,

– в процессе распространения внутренних волн через области с горизонтальным градиентом плотности возникает изменение их амплитуд и длин. Амплитуды волн возрастают на 150÷200%, одновременно длины внутренних волн сокращаются на 15÷20%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ле Блон П., Майсек Л.** Волны в океане. М.: Мир, 1981. Т. 1, 2.
2. **Миропольский Ю.З.** Динамика внутренних гравитационных волн в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
3. **Абруков С.А.** Теневые и интерферометрические методы исследования оптических неоднородностей. Казань: издательство Казанского университета, 1962.
4. **Чашечкин Ю.Д., Попов В.А.** Цветной теневой метод. // ДАН. Т.261. №5. 1981.

УДК 551.589.1: 551.461.28(262.54)

ТИПИЗАЦИЯ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ НАД АЗОВСКИМ МОРЕМ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ

Лемешко Е.Е.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь
e.lemeshko@mhi-ras.ru
Черноморский гидрофизический полигон РАН,
ул. Шулейкина, 9, 298688,
пгт. Кацивели, г. Ялта*

The typical synoptic phenomena over Azov sea are obtained on the base of ERA-Interim re-analysis data by the self-organizing map (Kohonen map) approach. The results are collated with storm surges in the Azov sea and Don delta with the aim to reveal connection between extreme sea level events and established types of self-organizing maps.

Применяется оригинальный подход для типизации синоптических ситуаций по данным ре-анализа за многолетний период, основанный на типизации полей приземного атмосферного давления и приземной скорости ветра над Восточной Европой, включая Азово-Черноморский бассейн, и сопоставление результатов типизации с данными измерений уровня Азовского моря и уровня реки в дельте Дона (Кагальник, Донской). Основное внимание уделено оценке интенсивности сгонно-нагонных колебаний уровня в дельте Дона в зависимости от характерных типов барических полей и скорости ветра. При этом на основе анализа данных ре-анализа ERA-Interim методом самоорганизующихся карт Кохонена получены характерные синоптические ситуации над Азовским морем, приводящие к сильным и устойчивым ветрам, для выяснения связей между аномальными изменениями уровня моря и штормовыми нагонами в дельте Дона и конкретными типами атмосферных процессов.

Актуальность проводимого исследования обуславливается необходимостью изучения физических закономерностей развития сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря и их сопоставления с различными типами интенсивной атмосферной циркуляции над акваторией Азово-Черноморского бассейна для задач диагноза и прогноза штормовых нагонов в прибрежной зоне Азовского моря и дельте Дона.

В качестве метода применяется анализ данных на основе самоорганизующихся карт Кохонена для нейронной сети, который позволяет выделить аномальные пространственно-временные особенности метеорологических полей и оценить влияние на них глобальных климатических процессов. Этот нелинейный метод анализа данных фактически является непараметрической регрессией и главным образом используется для представления многомерных, нелинейно связанных элементов в наглядной форме для выполнения классификации и идентификации данных [1].

В качестве данных использовались шестичасовые значения приземного атмосферного давления и приземного ветра с разрешением по пространству 0,125 градуса ре-анализа ERA-Interim [2] за период 2010–2014 гг. Таким образом, цель заключается в типизации полей атмосферного давления и ветра на основе метода над Восточной Европой, включая Азово-Черноморский бассейн, выявление взаимосвязи установленных типов со сгонно-нагонными явлениями в Азовском море, включая дельту Дона; установление закономерностей межгодовой изменчивости барических полей и тенденций повторяемости штормовых нагонов.

Согласно критерию Дэвиса-Боулдина [1] была выбрана сетка размерностью 3×4 нейрона и рассчитывалась повторяемость каждой самоорганизующейся карты, то есть определялся % карт атмосферного давления каждого из 12-ти типов в течение всего периода данных. По соответствующим меткам времени на карты атмосферного давления накладывалось поле скорости приземного ветра.

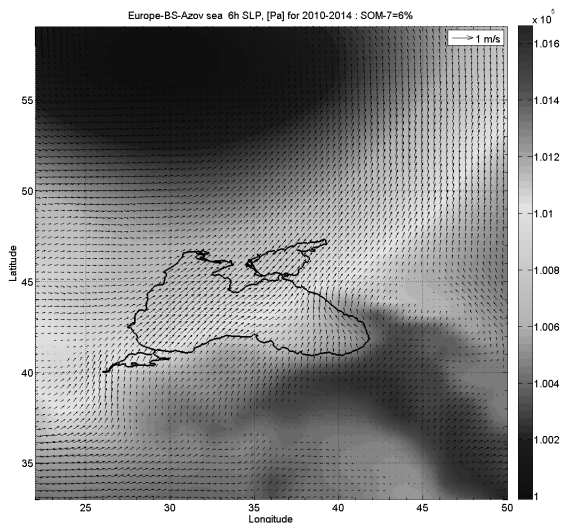


Рис. 1. Самоорганизующаяся карта приземного атмосферного давления [Pa] и скорости ветра № 7, повторяемость 6%

Аномальные сгонно-нагонные колебания в Азовском море возникают при синоптических процессах, вызывающих ветер значительной скорости (более 15 м/с) [3]. В конце марта 2013 г. в результате штормового нагона чрезвычайно быстро была затоплена водой значительная территория в дельте Дона. В соответствии с данными натурных наблюдений за погодой на метеопосте в селе Кагальник и автоматического уровнемера на станции в хуторе Донском картина развития экстремального наводнения заняла около 50 часов [4]. Также было установлено, что резкая смена сгонного эффекта на нагонный увеличивает скорость поступления воды, а, следовательно, и степень затопления дельты [4]. Результаты типизации атмосферных процессов сопоставляются со случаями экстремального подъема уровня в дельте Дона в результате

штормовых нагонов, известных из публикаций [4,5]. Еще более интенсивный подъем уровня в дельте Дона (свыше 3 м по данным в с.Кагальник) произошел в конце сентября 2014г.

Экстремальному наводнению 22–23 марта 2013г. предшествовали восточный и юго-восточный ветры и сгон воды в течение 10 часов, затем 24.03.2013 произошел разворот ветра в Таганрогском заливе на ЮЗ, при этом скорость ветра над акваторией моря в среднем была до 10–15 м/с, в порывах более 20 м/с [4]. Такая же последовательность отмечается и по самоорганизующимся картам для этого периода и по результатам нашего анализа: восточный и юго-восточный ветры (карты №8, 5), северо-западный (карты №1, 12) и юго-западный (карта №7). Аналогично, для нагона 30.09.2010, при котором величина подъема уровня реки превысила 2,8 м [5] и нагона 24.09.2014 (более 3 м) этим периодам соответствуют ветра северо-западного направления (карты №1, 12) и юго-западного (карты №4, 7).

Помимо этого, так же была произведена оценка сезонного и межгодового хода повторяемости различных атмосферных процессов шести установленных типов и таким образом оценена повторяемость сгонно-нагонных колебаний в Азовском море и дельте Дона. Для этого был рассчитан индекс повторяемости каждой карты для сезонного цикла (рис. 2) и для каждого месяца за период 2010–2014гг.

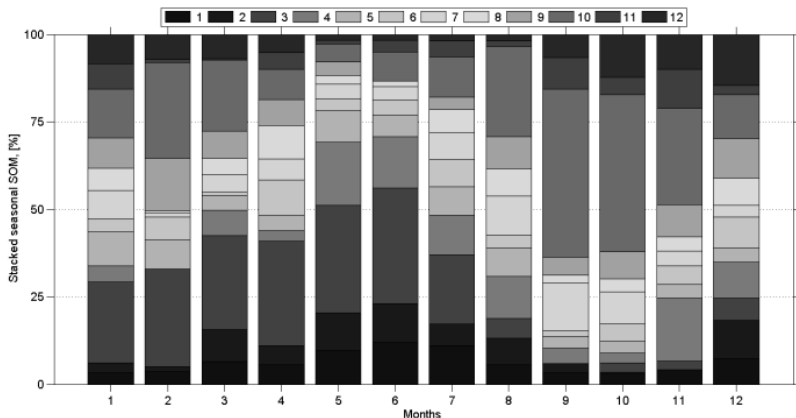


Рис. 2. Сезонный цикл индекса повторяемости самоорганизующихся карт атмосферного давления за период 2010–2014 гг.

Работа выполнена в Морском гидрофизическом институте РАН в рамках госзадания НИОКР (№ 0827-2014-0010) «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гидротехнологий».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лемешко Е.Е., Репина И.А., Лемешко Е.М.** Идентификация проявлений апвеллинга методом самоорганизующихся карт температуры поверхности Черного моря // «Системы контроля окружающей среды – 2013». МГИ, г. Севастополь. 2013. № 19. С.135–139.
2. ERA-Interim data. <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/index>
3. **Дьяков Н.Н., Фомин В.В.** Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря // Тр. УкрНИГМИ, 2002. – Вып. 250. –С. 332 – 341.
4. **Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Швердяев И.В.** Экстремальное наводнение в дельте Дона (23–24 марта 2013 г.) и факторы, его определяющие // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455. №3. С. 342.
5. **Пономаренко Е.П., Сорокина В.В., Бирюков П.А.** Сгонно-нагонные явления в дельте реки Дон в 2007–2010 гг. и их прогнозирование // Вестник Южного научного центра, 2012. Том 8. №1. С. 28–37.

УДК 551.465

ВОЛНОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКА НА ОБТЕКАЕМОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

Владимиров И.Ю.¹, Корчагин Н.Н.¹, Савин А.С.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117851, г. Москва, 8(499)129-19-45,
e-niknik@mail.ru*

² *МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, 105005,
г. Москва, 8(495)-559-64-39, assavin@list.ru*

An analytical solution is obtained of the model problem of wave influence of the stratified current on an underwater pipeline

in the case of the circulation flow over it. Numerical calculations of hydrodynamic reaction for real sea conditions are conducted.

На обтекаемые стратифицированным морским течением подводные препятствия действует сила вязкого сопротивления, кроме того, возникают дополнительные гидродинамические реакции, обусловленные генерацией внутренних волн. Следовательно, подводные элементы инженерных конструкций (в частности, транспортные трубопроводы) могут дополнительно испытывать вполне значимые силовые воздействия.

Для оценки таких воздействий рассмотрим двухслойный поток идеальной жидкости, ограниченный снизу горизонтальным дном, стационарно обтекающий цилиндр с поперечным сечением радиусом R . Цилиндр моделируется точечным диполем с моментом $m = 2\pi VR^2$, где V – скорость набегающего потока, и точечным вихрем с циркуляцией Γ . Обозначим толщину верхнего слоя H , нижнего – H_1 , а плотности соответственно ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 < \rho_2$). Начало координат поместим на невозмущенной границе между слоями жидкости, ось x направим вдоль этой границы, ось y вертикально вверх.

Комплексно-сопряженная скорость возмущенного диполем потока находится в соответствии с подходами, предложенными в [1,2]. Были рассмотрены две модельные задачи: диполь находится под скачком плотности жидкости и диполь над скачком. Для вычисления гидродинамических сил, приложенных к рассматриваемому цилиндру, представим комплексно-сопряженную скорость в каждом из двух слоев потока в виде $u_k = V + U_k$, $U_k = u_k - iv_k$, $k = 1, 2$. Тогда математическая задача об отыскании возмущений комплексно-сопряженной скорости U_k , вносимых в поток диполем и вихрем, расположенными под скачком плотности, формулируется следующим образом: требуется найти аналитические функции $U_1(z)$ и $U_2(z)$, удовлетворяющие граничным условиям

$$\operatorname{Im} \left[i \frac{dU_1}{dz} - vU_1 \right] = 0 \text{ при } y = H, \quad (1)$$

$$\delta \operatorname{Im} \left[i \frac{dU_1}{dz} - vU_1 \right] = \operatorname{Im} \left[i \frac{dU_2}{dz} - vU_2 \right] \text{ при } y = 0, \quad (2)$$

$$\operatorname{Im} U_1 = \operatorname{Im} U_2 \text{ при } y = 0, \quad (3)$$

$$\operatorname{Im} U_2 = 0 \text{ при } y = -H, \quad (4)$$

Здесь $\delta = \rho_1/\rho_2$, $z = x + iy$, $v = g/V^2$, g – ускорение свободного падения. Кроме того, $U_1(z)$ должна быть регулярна в полосе $-\infty < x < +\infty$, $0 < y < H$, а $U_2(z)$ – в полосе $-\infty < x < +\infty$, $-H_1 < y < 0$ всюду за исключением точки $z = -ih$, в которой $U_2(z)$ имеет полюс второго порядка:

$$U_2(z) = -\frac{m}{2\pi} \frac{1}{(z + ih)^2} + \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z + ih} + f(z), \text{ где } f(z) \text{ — регулярная функ-}$$

ция. Граничное условие (1) описывает постоянство давления на свободной поверхности, (2) – непрерывность давления при переходе через поверхность раздела слоев, (3) – отсутствие потока жидкости через эту поверхность, (4) является условием непротекания через дно.

После некоторых преобразований с использованием формулы С.А. Чаплыгина [3] была найдена добавочная к обобщенной силе Жуковского комплексно-сопряженная гидродинамическая нагрузка на цилиндр $\Delta F^* = X - i\Delta Y$, где X – волновое сопротивление, ΔY – добавочная подъемная сила диполя (полученные формулы приведены в [1]). В той же постановке исследована задача об определении добавочной гидродинамической нагрузки ΔF , действующей на диполь, расположенный над скачком плотности [1].

Расчеты гидродинамического воздействия на цилиндр проводились при значениях характеристик среды, соответствующих реальным условиям моря. Так, плотность в верхнем слое $\rho_1 = 1024 \text{ кг/м}^3$, а перепад плотности между верхним и нижним слоями $\rho_2/\rho_1 = 1.01$, что может соответствовать наличию мутьевого потока в нижнем слое. Общая глубина потока $H_0 = H + H_1 = 50 \text{ м}$, толщина верхнего слоя $H = 40 \text{ м}$, радиус цилиндра $R = 0.71 \text{ м}$. Диполь локализован в нижнем (или в верхнем) слое на расстоянии $h = 2 \text{ м}$ от границы раздела слоев жидкости. Безразмерная циркуляция определялась как $\gamma = \Gamma / (4\pi VR)$. Расчеты велись отдельно для положительной и отрицательной циркуляции.

Результаты вычислений подъемной силы ΔY (в расчете на погонный метр длины цилиндра) в зависимости от скорости набегающего потока приведены на рис. 1. На каждом графике изображены четыре кривые, соответствующие следующим значениям абсолютной величины циркуляции γ : 0, 0.05, 0.1, 0.2.

Представленные на рис. 1 графики $Y(V)$ отражают важную особенность в изменчивости подъемной силы. Так, в относительно узком диапазоне изменения скорости потока подъемная сила резко меняет свое направление на противоположное. В результате знакопеременные силовые воздействия могут приводить к деформированию отдельных гори-

зонгально протяженных элементов обтекаемых конструкций (например, транспортных трубопроводов). Такой результат является новым, и его необходимо учитывать при проектировании и сооружении подводных конструкций на морском дне.

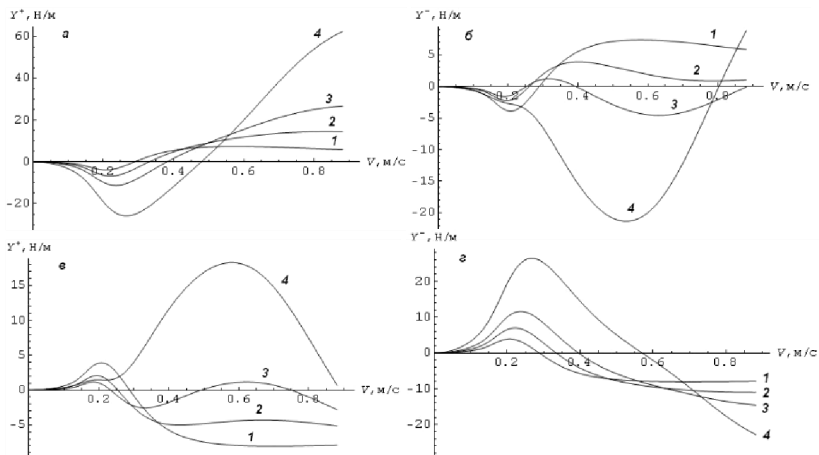


Рис. 1. Зависимости подъемной силы диполя от скорости потока. Диполь над скачком плотности (а, б) и под ним (в, г); $\gamma_i > 0$ (а, в), $\gamma_i < 0$ (б, г); $\rho_2/\rho_1=1.01$. На каждом графике представлены 4 кривые, соответствующие разным значениям абсолютной величины γ_i : 1 – 0; 2 – 0.05; 3 – 0.1; 4 – 0.2

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров И.Ю., Корчагин Н.Н., Савин А.С. Волновая реакция диполя при циркуляционном обтекании двухслойным потоком конечной глубины // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2016. – № 2. – С. 90-99.
2. Владимиров И.Ю., Корчагин Н.Н., Савин А.С. Эффект волнового воздействия двухслойного потока на подводные препятствия // Океанология. – 2016. – Т. 56. – № 4. – С. 547–555.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1978.

**БАЗА ДАННЫХ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА
ГЛОБАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

Серых И.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(916)114-09-69,
iserykh@ocean.ru*

Special database and software package were created to quantify the variability of the basic climate parameters and the corresponding data analysis. These database and software package solve the variety of tasks using a long series of global fields and the methods to carry out the necessary calculations require adaptation to this area of research.

Созданная база данных содержит материалы из множества независимых источников, которые в настоящее время считаются одними из наиболее надежных среди продолжительных глобальных баз климатических данных, и используются учеными во всем мире: 20thC_Rean, Arctic System Reanalysis (ASR), ARGO, ORA, OSCAR, ERA-20C, ERA-Interim, JRA, GODAS, ICOADS, HadCRUT, HadISST, HadSLP2, NCEP CFSR, NCEP NCAR, NODC, OAFflux, CMAP, GPCC, PERSIANN-CDR, Ishii, AVISO, PODAAC, COBE, ERSST, NOAA OI SST, GISS, MLOST, ECMWF NEMOVAR, ESG-NCAR, GECCO, GFDL-ODA, MERRA, NCEI, OISST, ECCO, ORAP, CMCC C-GLORS, CHOR, GLORYS, SODA, AR5, ARMOR3D, ASI SSMI, CGLORS, CORA, NCEP-DOE, NSIDC.

База данных также содержит результаты 47 совместных моделей океана и атмосферы, доступных в рамках проекта CMIP5: ACCESS1.0, ACCESS1-3, bcc-csm1-1, bcc-csm1-1-m, BNU-ESM, CanESM2, CCSM4, CESM1-BGC, CESM1-CAM5, CESM1-FASTCHEM, CESM1-WACCM, CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS, CNRM-CM5, CNRM-CM5-2, CSIRO-Mk3.6, EC-EARTH, FGOALS-s2, FIO-ESM, GFDL-CM2p1, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-H-CC, GISS-E2-R, GISS-E2-R-CC, HadCM3, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, INM-CM4, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-

CM5B-LR, MIROC4h, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MPI-ESM-P, MRI-CGCM3, MRI-ESM1, NorESM1-M, NorESM1-ME.

Для количественной оценки изменчивости основных климатообразующих параметров и соответствующего их анализа создан пакет программ обработки данных. Он внедрен и используется для практической работы в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН). Создание специального пакета программ обусловлено многообразием решаемых задач с использованием продолжительных рядов глобальных полей и тем, что методы, позволяющие проводить необходимые вычисления, требуют адаптации к данной сфере исследования. При создании программного пакета использован язык программирования C, который является системным языком низкого уровня, то есть он ближе к Ассемблеру, чем высокоуровневые языки. Хотя это несколько усложнило процесс программирования, но позволило оптимально реализовать контроль проводимых вычислений.

В качестве входных данных можно использовать глобальные поля гидрометеорологических характеристик, которые распределены в узлах регулярной сетки. Пакет состоит из оригинальных программ, каждая из которых содержит ряд модулей. Некоторые из них являются стандартными и входят в каждую из программ. К ним относятся: считка данных, подготовка временных рядов и полей к анализу, их регуляризация и упорядочивание, контроль качества информации. Специализированные модули уникальны для каждой из программ, являются сложными, многофункциональными и состоят из группы простых.

Перечислим основные специализированные модули, их назначения и решаемые ими задачи: оценка изменчивости глобальных климатических полей на некотором временном интервале путем расчета разности соответствующих средних полей, композиционный анализ [1], расчет статистической значимости (рис. 1) [2], осреднение, фильтрация полей [3], выделение регулярного («климатического») сезонного хода путем вычисления среднемесячных многолетних значений по всему временному интервалу [4]. Расчет геострофического ветра по полю атмосферного давления. Расчет и построение пространственно-временных диаграмм исследуемой характеристики в определенном регионе за заданный период времени [5]. Оценка коэффициентов полинома первой степени, аппроксимирующего скорость изменения исследуемой характеристики в каждой точке исходного дискретного поля, при этом рассчитывается знак и величина коэффициента, выражающего линейный тренд, т.е. среднюю скорость изменения параметра. Авто- и взаимный спектраль-

ный анализ рядов, оценка корреляционных функций, когерентности и фазовых соотношений. Расчет поля распределения дисперсии исследуемой характеристики путем интегрирования функции спектральной плотности, рассчитанной в каждой точке дискретного поля в пределах определенных частотных диапазонов.

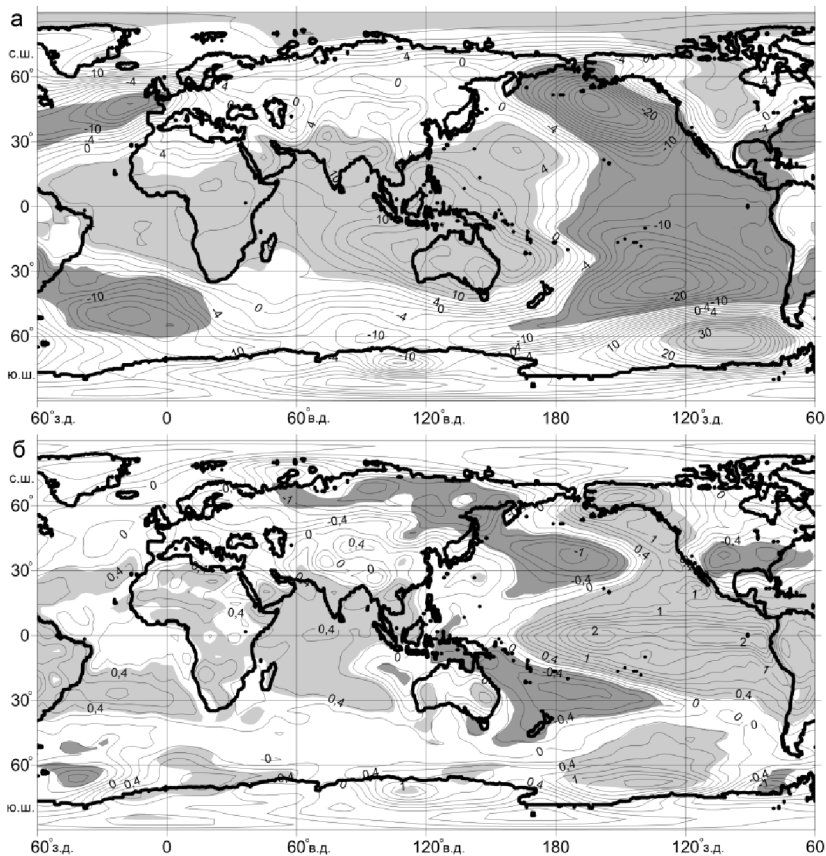


Рис. 1. Глобальные поля средней разности высоты (в метрах) геопотенциала поверхности 1000 гПа (а) и средней разности температуры воздуха (°С) на уровне 1000 гПа (б) между двумя фазами Глобальной Атмосферной Осцилляции (ГАО) за период 1948-2014 гг. (заштрихованы значения с 90% уровнем вероятности согласно t-тесту Стьюдента)

Пакет программ зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ (свидетельство №2011613323 о государственной регистрации программы для ЭВМ от 28 апреля 2011 г.).

База данных и программный комплекс постоянно развиваются и дополняются новыми данными и модулями.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.** Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 62–71.

2. **Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М.** О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции. Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179–185.

3. **Серых И.В., Сонечкин Д.М.** О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 44–52.

4. **Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В.И., Романов Ю.А., Серых И.В., Цурикова Т.В.** Роль Глобальной Атмосферной Осцилляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России. Доклады Академии наук (ДАН). 2014. Т.458. № 1. С. 92–96.

5. **Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.** Эль-Ниньо как следствие глобальной осцилляции в динамике климатической системы Земли. Доклады Академии наук (ДАН). 2012. Т.446. № 1. С. 89–94.

ПОДВОДНАЯ СТАЦИОНАРНАЯ СИСТЕМА СКАНИРОВАНИЯ ТОЛЩИ ВОДЫ

**Баранов В.И.¹, Зинченко А.Б.¹, Зацепин А.Г.², Куклев С.Б.¹,
Очередник В.В.¹**

¹ Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 8(86141)2-80-69, Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик-7, Россия, baranovvlad@mail.ru, kuklev@ocean.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-6392, zatsepin@ocean.ru

An underwater stationary probing system for a full depth scanning of water environment in the coastal seas is presented. The system allows to measure automatically vertical profiles of physical and bio-optical parameters from the bottom layer up to the sea surface. It could operate in real-time mode transferring the measured data to the data storage and processing center.

При размещении измерительных комплексов на морской акватории исследователи всего мира сталкиваются с проблемой вандализма – элементы станций, которые находятся на поверхности моря, со стороны посторонних лиц подвергаются демонтажу или порче при попытках демонтажа. Вторым недостатком методики постановки станций с поверхностными элементами является активное механическое воздействие на весь приборный комплекс в период экстремальных штормов, которое может вывести из строя дорогостоящее оборудование. С целью предотвращения актов вандализма, негативного воздействия штормового волнения на практике чаще всего реализуется методика постановки станций с использованием подповерхностной плавучести, которая располагается на глубине от 7 до 25 м. Недостатком указанной методики является отсутствие наблюдений в верхних слоях моря, наиболее динамичных и представляющих для решения некоторых задач океанологии большой научный интерес. В связи с этим была поставлена задача разработки систем, позволяющих периодически зондировать всю толщу воды со стационарным расположением измерительных комплексов на дне. В ИО РАН в настоящее время реализуется два подхода: приборный комплекс с переменной плавучестью и зондирование с помощью подводной лебедки.

Система “Подводная лебедка” позволяет считывать информацию с измерительного комплекса в режиме реального времени и передавать данные зондирования в центр обработки данных. Возможно два варианта передачи данных: по подводному кабелю, либо пакетами по каналам GSM во время нахождения измерительного комплекса на поверхности моря. Функциональная схема системы представлена на рис. 1.

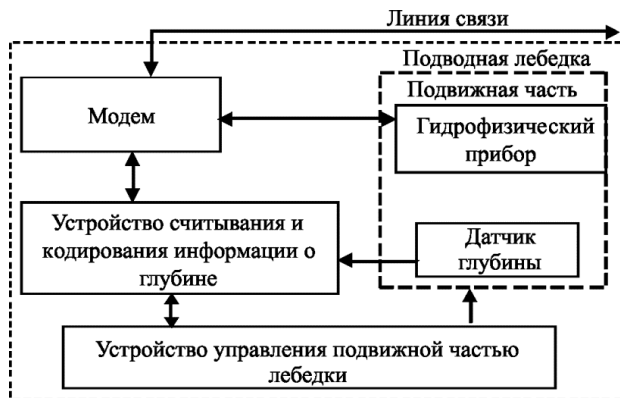


Рис 1. Функциональная схема подводной лебедки

Лебедка состоит из неподвижной и подвижной части.

Неподвижная часть с устройством управления подвижной части лебедки, устройством считывания информации о глубине местоположения измерительного комплекса и модема для передачи информации на донную станцию, или на GSM устройство.

Подвижная часть подводного блока обладает линией связи с устройством обеспечения подъема измерительного комплекса до поверхности, регистратором глубины положения и устройством передачи информации в подводный блок, а при автономности она имеет передающее GSM устройство. Такая система без измерительного комплекса и устройства обеспечения его подъема к поверхности представлена на рис. 2.

Основой управления подвижной частью является электродвигатель с усилием на валу не менее 5-ти килограммов силы. Для защиты двигателя от воды используется герметичный корпус с передачей вращающего момента через магнитную муфту. К магнитной муфте прикреплен червячный механизм, который вращает шестерню и присоединенную к ней катушку с кабелем. Шестеренка наматывает и сматывает с катушки тонкий прочный кабель. На конце кабеля располагается плавучесть со

встроенным модемом, антенной и зондом. Вся электронная часть управления лебедкой, система сбора и передачи информации расположены в нижней неподвижной части лебедки.

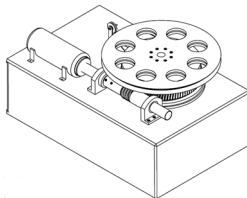


Рис. 2 Общий вид неподвижной части подводной лебедки с устройством управления ее подвижной частью

Такие автоматические зондирующие системы целесообразно устанавливать до глубины 100 метров и использовать в прибрежной зоне морей и других водоемов. Благодаря применению материалов не подверженных коррозии применение возможно в агрессивных средах.

Создание системы осуществлено при финансовой поддержке проекта РНФ 14-50-00095, а подключаемых к ней станций измерения профилей скорости течения и температуры воды – при финансовой поддержке Программы 3 РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Низов С.С., Пиотух В.Б., Соловьев В.А., Швоев Д.А., Цибульский А.Л., Куклев С.Б., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кубряков А.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // ФАО. – 2014. – №1. – С.16–29.

2. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [электронный ресурс]. URL: www.analog.com

3. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. // СПб. Питер, 2002. 608 с.

4. "В интернет через Ethernet" [электронный ресурс]. URL <http://nag.ru/go/text/26280/>

5. **Анурьев В. И.** Справочник конструктора машиностроителя. В 3т. Т 1 – 8-е издание перераб. и доп. Под редакцией И. Н. Жестковой – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с. ил.

II. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОЗЕРЕ ИССЫК-КУЛЬ С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПЛАТФОРМ

Римский-Корсаков Н.А.^{1,2}, Пронин А.А.¹, Белевитнев Я.И.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, nrk@ocean.ru*

² *МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва*

The morphology of the relief portions bottom of Lake Issyk-Kul was investigated with the help of sonar technology, unmanned aerial vehicles (UAV) and remotely operated underwater vehicle (ROV). New data on the structure of the ancient riverbeds Jergalan and Tup were obtained. The places of bottom stations with distributed temperature sensors and flow gauges performances were determined. The underwater cultural heritage was registered and identified.

Осенью 2016 года экспедицией ИО РАН были проведены исследования морфологии рельефа дна озера Иссык-Куль в условиях изменяющегося уровня водной поверхности с использованием гидролокационных технологий, беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Получены новые данные о структуре древних русел рек Жергалан и Тюп на восточном шельфе озера, выбраны оптимальные места постановок донных станций с распределенными термодатчиками и измерителями скорости и направления течения, зарегистрированы и идентифицированы подводные объекты культурного наследия.

Для обеспечения работ экспедиции использовался гидролокатор бокового обзора «Yellowfin» (рис. 1), гидрографический эхолот «СКАТ-50М», глубоководный эхолот «Lowrence LMS-350», GPS – приемники G-Star IV и Garmin GPS MAP 64 st, телеуправляемый подводный аппарат «ГНОМ-супер» (рис. 2), а также квадрокоптер DJI PHANTOM 3 advanced (рис. 3) с видеокамерой. Гидролокационные исследования позволили получить следующие результаты:

– данные промера глубин эхолотом на всем протяжении маршрута следования экспедиционного судна (на рисунке представлен один из участков профиля поверхности наиболее интересного участка дна вдоль маршрута движения судна, отмечена дата, а также время начала и время окончания промера глубин);



Рис. 1. Гидролокатор бокового обзора «ЙеллоуФин»



Рис. 2. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат класса мини «ГНОМ-супер» во время ночного погружения в районе п. Чолпон-Ата



Рис. 3. Квадрокоптер в момент взлета с берега

– на отдельных участках маршрута следования экспедиционного судна, а также на полигоне «Сухой Хребет» велась гидролокационная

съемка с помощью ГБО, на рисунке приведено гидролокационное изображение участка дна в районе палеоруслу реки Жерголан;

– на основе непрерывных гидролокационных изображений и эхолотных профилей были выбраны оптимальные места установки донных станций с термокосами и измерителями направления и скорости течения в придонной области – задача состояла в том, чтобы провести сезонные сравнительные наблюдения за структурой придонной водной толщи в древних руслах рек и разделяющей их отмели;

– в районе поселка Чолпон-Ата с помощью гидролокатора бокового обзора зарегистрирован ряд подводных объектов, которые могут соответствовать останкам древних сооружений, гидролокационное изображение одного из них, простирающегося более чем на 300 м представлено на рис. 4;

– с помощью видеосъемки с летающего квадрокоптера зафиксировано положение обнаруженного объекта относительно береговой черты в районе п. Чолпон-Ата; контуры объекта при дневном освещении (рис. 5) просматриваются с воздуха сквозь водную толщу 8–9 м; работы, связанные с видеосъемкой наземных и надводных проявлений подводных объектов, являются продолжением разработок ИО РАН в области технологий исследования геоморфологии дна внутренних водоемов, эстуариев, дельт и русел рек [1].

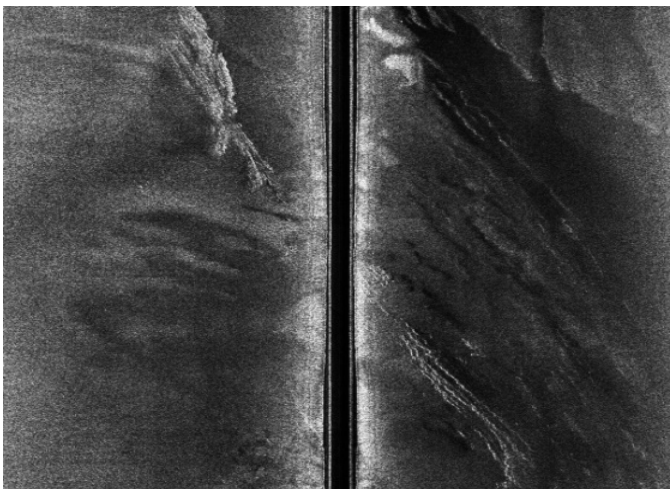


Рис. 4. Гидролокационное изображение останков древних сооружений вблизи п. Чолпон-Ата

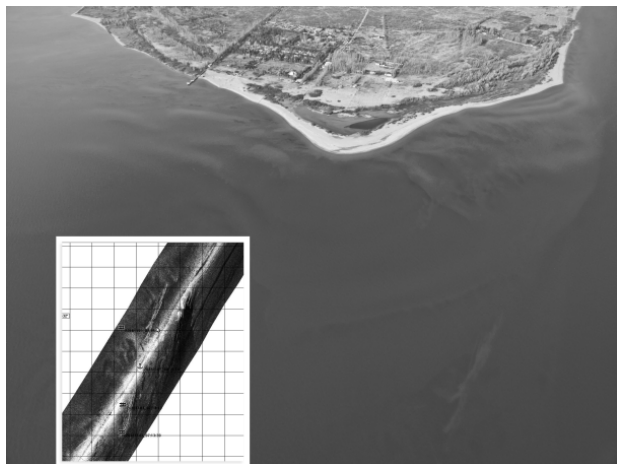


Рис. 5. Фотография акватории расположения подводных останков древних сооружений вблизи п. Чолпон-Ата, полученная с квадрокоптера



Рис. 6. Кадр видеоизображения останков древних сооружений полученного с помощью подводного телеуправляемого аппарата ГНОМ вблизи п. Чолпон-Ата

– в результате визуального осмотра объекта с помощью подводной видеосистемы телеуправляемого необитаемого аппарата «ГНОМ-супер» определено, что объект представляет собой совокупность останков протяженных древних сооружений (стен или фундаментов), нивелированных процессами волновой эрозии и поросшими разновидностью губок (рис. 6).

По результатам работ можно сформулировать следующие выводы и предложения:

- работы по исследованию морфологии рельефа дна и подводных объектов на озере Иссык-Куль выполнены полностью в соответствии с Программой работ;
- полученные результаты являются основанием для анализа экологии озера и прибрежных районов суши;
- впервые в районе подводных палеорусел рек Тюп и Жироголан определены места и установлены донные станции для долговременных измерений вертикальных профилей температуры и скорости и направления придонных течений;
- подводные объекты, обнаруженные в районе бровки свала глубин в районе поселка Чолпон-Ата являются останками древних сооружений;
- начатые работы несомненно должны быть продолжены в части сгущения сетки галсов обследования для получения непрерывных панорам поверхности дна и подводных объектов;
- применение подводного телевидения с борта ТНПА и аэровидеосъемки с квадрокоптера показало высокую эффективность при идентификации подводных объектов, в том числе объектов культурного наследия;
- работы по обследованию поверхности целесообразно продолжить вблизи поселка Чолпон-Ата, а также в районе Тор-Айгыр, представляющим интерес с точки зрения геоморфологии и палео-геологии, как древний эстуарий реки Чоу, по берегам которой в древности находились поселения людей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Белевитнев Я.И., Коротаев В.Н., Иванов В.В.** Синхронная гидролокационная и видеосъемка при геоморфологическом картировании дна водных объектов. / В сб. «Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». – М.: АПР, 2013. ISBN 978-5-904761-35-6. Т. 1. С. 216–219.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО КАТЕРА С ГИДРОЛОКАТОРОМ БОКОВОГО ОБЗОРА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

**Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В.,
Элбпкидзе А.В., Денисов Е.Ю.**

*ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН,
г. Фрязино, Московской обл., пл. им. академика Б.А.Введенского, д. 1,
тел. +7(496)565-26-70, факс +7(496)565-24-07, ilia159@mail.ru*

The experimental results of stand-alone multi-functional complex, mounted on a radio-controlled model boat, consisting of side-scan sonar (SSS) with chirp probing signal, GPS receiver, and a magnetometer and pitching rate sensor and Wi-Fi access point are described.

Для обследования дна водоемов при экологическом мониторинге, подводном строительстве и картографических работах основными средствами являются гидроакустические комплексы, в состав которых входят гидролокаторы бокового обзора, многолучевые эхолоты, профилографы и системы позиционирования. Для этих целей используется набор различных технических средств, которые устанавливаются на гидрографических судах или катерах, размеры и осадка которых не позволяют использовать их на малых, неглубоких водоемах. В ФирЭ им. Котельникова РАН разработаны гидролокационные комплексы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующих сигналов и технологии цифровой обработки эхо-сигналов, которые позволили повысить энергетический потенциал гидролокационных систем при невысоких амплитудах зондирующих импульсов [1]. За счет этого удалось существенно уменьшить габариты гидролокационных комплексов, в том числе и ГБО, являющегося основным прибором при обследовании дна водоемов, и разместить его на модели радиоуправляемого катера Double Horse Flying Fish 7006, с размерами 96x30x23 см., предназначенный для обследования малых водоемов.

Катер оснащен ГБО со следующими техническими характеристиками:
Рабочая частота – 455 кГц.

Тип излучаемого сигнала – сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ).

Ширина полосы частот излучаемого сигнала – 50 кГц.

Длительность излучаемого сигнала – 0.5–10 мСек.

Число зондирующих посылок в секунду – 50–1.

Излучаемая мощность – 60–10 Вт.

На рис. 1 изображен радиоуправляемый катер с установленной на него аппаратурой.



Рис. 1. Радиоуправляемый катер с установленной на него аппаратурой

Управление катером, контроль над работой ГБО и сбор данных на вычислительную машину (ВМ) осуществляется по сети WiFi. Для применения комплекса при проведении картографирования дна водоема, катер оснащен системой спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS), датчиками крена, дифферента и курса.

Сбор данных и управление катером осуществляется с базовой станции, оснащенной ВМ с адаптером сети WiFi и подключенной к системе спутниковой навигации установленной в точке с известными координатами. Такое оснащение базовой станции позволяет повысить точность позиционирования катера с целью последующего картографирования дна водоема.

На рис. 2 приведен фрагмент изображения ГБО полученного с помощью радиоуправляемого катера.

Интерференционные полосы на рис. 2 (3) являются проявлением зеркального эффекта Ллойда [2, 3], когда эхо-сигнал, идущий непосредственно от источника интерферирует с таким же сигналом, отраженным

от водной поверхности. Это явление дает возможность провести вычисление глубины в прибрежной части водоема на основе данных ГБО [4].

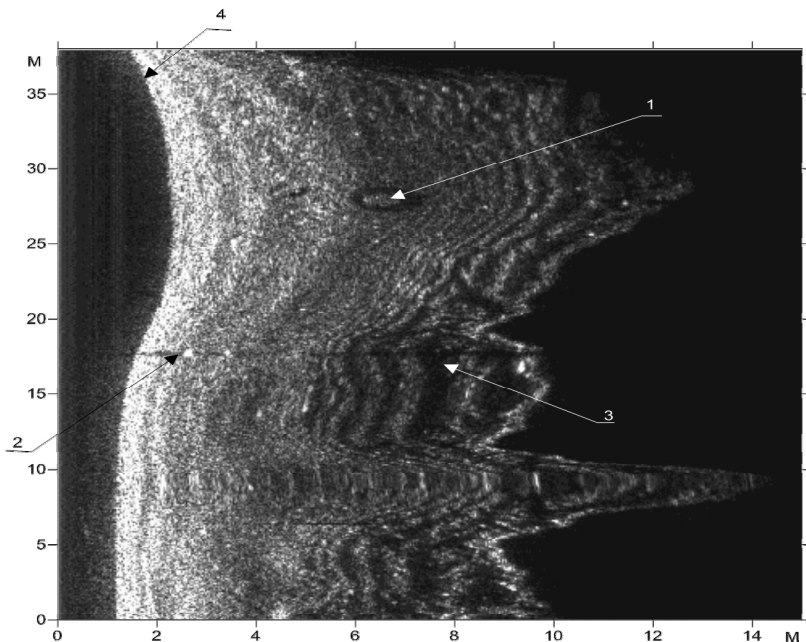


Рис. 2. Фрагмент изображения ГБО полученного с помощью радиуправляемого катера

1 – Кольцеобразный объект (Возможно автомобильное колесо), 2 – Цель, специально опущенная в воду для проведения испытаний, 3 – Интерференционные полосы возле берега водоема, 4 – Линия дна

На рис. 3 приведена контурная карта глубин для приведенного на рис. 2 фрагмента акустического изображения, отображенная в том же масштабе. Вычисление глубин проведено по алгоритмам, разработанным на основе предложенного способа измерения глубин в прибрежной зоне.

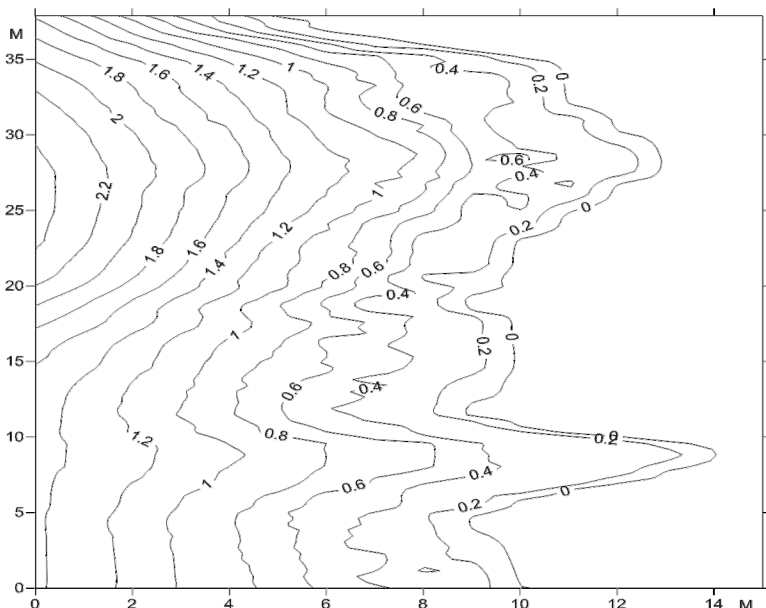


Рис. 3. Контурная карта глубин для приведенного на рисунке 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Элбакидзе А.В., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Кривцов А.П., Денисов Е.Ю. Многофункциональный гидролокационный комплекс для исследования морского дна // VIII Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь», труды конференции. – Москва, 2014. – С. 227–231.
2. Томпсон А.Р., Моран Д.М., Свенсон-мл Д.У. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. – М.: Физматлит, 2003. 624 с.
3. Струок Дж. Введение в когерентную оптику и голографию. – М.: Мир, 1967. – 347 с.
4. Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю. Способ измерения глубины водоема в прибрежной зоне // X Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь», труды конференции. – Москва, 2016. – С. 223–227.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ ПО
ОБСЛЕДОВАНИЮ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ
ОБЪЕКТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ**

Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр. д. 36. 117997 г. Москва
8(495)719-03-70, nba1940@yandex.ru*

The paper presents the results of experimental work on investigating the underwater dangerous objects carried out by PP Shirshov Institute of Oceanology in 2006, 2008, 2010, 2011 in the waters of the Caucasian coast of the Black sea (from the Kerch Strait to the port of Adler).

Работы по поиску и обследованию подводных потенциально опасных объектов (ППО) проведены Институтом океанологии им. Ширшова РАН в 2006, 2008, 2010 и 2011 г.г. в акватории Кавказского побережья Черного моря (от Керченского пролива до п. Адлер).

При этом получены следующие результаты:

1. В районе м. Панагия – м. Железный Рог:

– проведена гидролокационная съемка морского дна на площади 40 кв. километров;

– телеуправляемым подводным аппаратом (ТПА) «Фалкон» и водолазами обследованы обнаруженные по результатам гидролокационного поиска ППО.

Всего обнаружено 36 объектов техногенного и природного характера. Обследовано 28 объектов, из них – 2 затонувших судна, 3 объекта техногенного и 23 объекта природного характера. Подтверждено обнаружение двух крупных объектов, один из которых идентифицирован как т/х «Майкоп», второй – предположительно торпедный катер времен ВОВ. В дальнейшем необходимо провести его идентификацию и детальное обследование на предмет определения его потенциальной опасности. В двух точках обнаружены фрагменты затонувших судов. Идентификацию этих объектов не удалось

завершить, в связи с плохими погодными условиями. Взрывчатых и отравляющих веществ не обнаружено.

2. В районе Сочи – Бытх – Адлер, также в районе Криница – Бетта:

Выполнен гидролокационный поиск ППОО на площади 25 кв. километров. Обнаружено 12 объектов техногенного и природного характера, из них 6 затонувших судов, 4 объекта техногенного и 2 объекта природного характера. С помощью ТПА «Фалкон» и водолазами обследовано 10 объектов, в том числе:

– обломки судна, находящиеся на глубине 20 метров, разбросаны в радиусе около 15–20 метров, длина обломков 4–5 метров. Название судна не установлено. Вероятно, судно являлось рыболовным. Взрывчатых веществ не обнаружено;

– судно, находящееся на глубине 22 метра, длиной около 15 метров, шириной около 12 метров, лежит на ровном киле. Название судна не установлено. Предположительно судно являлось баржей. Взрывчатых веществ не обнаружено;

– судно, находящееся на глубине 13 метров, длиной около 25–30 метров, шириной около 6–8 метров, лежит на ровном киле с креном на правый борт 15–20 град. Обшивка металлическая. Предположительно судно называлось «Петраш» и являлось буксиром. Взрывчатых веществ не обнаружено.

3. В районе Криница – Бетта обнаружены и обследованы останки самолета:

– детали двигателя самолёта находятся на глубине 13 метров. Двигатель длиной около 1–1,5 метра, имеет 3-х лопастной винт, длина лопасти около 1,5–2 метров, лопасти винтов загнуты. Вокруг двигателя взрывчатых веществ не обнаружено;

– в координатах 44 22 207N, 38 22 062E, обнаружена авиабомба длиной около 1 метра. Бомба имеет хвостовое оперение, лежит на дне, передняя часть бомбы находится под грунтом.

В остальных местах нахождения обследованных объектов взрывчатых и отравляющих веществ не обнаружено.

4. Проведен осмотр т/х «Адмирал Нахимов» водолазами и ТПА «Гном». Глубина 45 метров. Уточнено положение корпуса судна – судно имеет крен 15–20 градусов на правый борт. Часть корпуса судна разрушена. Установлено, что взломаны ранее заваренные иллюминаторы верхних палуб. Визуально выхода нефтепродуктов не обнаружено.

5. Обследован линкор «Свободная Россия», местоположение которого было установлено в ходе работ в 2008 году. Судно лежит на глубине 39–40м днищем вверх, наблюдается сильное обрастание водорослями и ракушечником. Часть корпуса судна разрушена, видны проломы в днище судна. Боеприпасов и следов разлива нефтепродуктов не обнаружено.

Полученные результаты являются основанием для ведения и уточнения Реестра подводных потенциально опасных объектов Черного моря.

6. *За время экспедиции отобраны:* 61 проба донных отложений, 58 проб придонной воды и 15 проб поверхностной воды в районах нахождения ППОО и фоновых районах Российского сектора Черного моря от г.Туапсе до г.Анапа и в районе Таманского полуострова.

Анализ отобранных проб на содержание нефтепродуктов, тяжелых металлов, мышьяка, хлорорганических пестицидов, фенолов и хлорфенолов методами газовой хроматографии, рентгенофлуоресцентного анализа, инверсионной вольтамперометрии и инфракрасной фотометрии показал следующее:

– зафиксировано **превышение предельно допустимой концентрации нефтепродуктами в 25 пробах придонной воды из 58 проб. Превышение ПДК относится, в основном, к району от Новороссийской бухты до мыса Сукко.**

В одной из проб (ЧМ-57-SW) у Таманского полуострова обнаружена максимальная концентрация углеводородов (2,6 ПДК) в придонной воде;

– содержание тяжелых металлов в отобранных пробах не превышает фоновую уровня;

– концентрации мышьяка и хлорорганических пестицидов в обследованных районах не превышают предельно допустимых значений;

– зафиксировано повышенное содержание фенола (1,2–1,7 ПДК). Максимальное содержание фенола отмечено в месте нахождения буксира «Симеиз» рядом с г.Туапсе, на выходе из Новороссийской бухты и в районе Керченского пролива;

– во всех пробах воды и донных отложений не обнаружено отравляющих веществ – иприта, люизита и продуктов трансформации, хлор-ацетофенона. Тем не менее, опасность загрязнения морской среды токсичными компонентами затопленного химического оружия сохраняется, так как нет достоверных сведений о том, что захоронений химического оружия не проводилось. Влияния ППОО на состояние экосистемы в настоящее время не выявлено;

– случаев достижения высокого и экстремально высокого уровней загрязнения на обследованной акватории в 2009 г. не отмечено.

Экологическое состояние обследованных районов, с точки зрения химических загрязнений, в настоящий момент удовлетворительное.

Циркуляция вод в прибрежной (шельфовой) зоне Российского сектора Черного моря оказывает существенное влияние на распространение взвесей загрязняющих веществ. Главной структурой этой циркуляции является Основное Черноморское течение (ОЧТ). У Российского побе-

режья оно направлено на северо-запад (от Сочи до Анапы), затем – на запад. Отдельные вихревые потоки ОЧТ способствуют выносу осадочных отложений в глубоководную часть моря и оседанию их за пределами шельфовой зоны у подножия материкового склона.

В дальнейшем необходимо более детально обследовать наиболее загрязненный район Российского сектора Черного моря (район Новороссийской бухты) и оценить границы снижения концентрации загрязняющих веществ до безопасных значений в прилегающих районах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский–Корсаков Н.А.** и др. Итоговый отчет по государственному контракту №2/2 ПРСН от 22.05.2009г. «Мониторинг состояния подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ИОРАН, 2009. 183 с.

2. **Вяльшев А.И., Нерсесов Б.А., Римский–Корсаков Н.А.** «Исследование подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ФГБНУ «Аналитический центр», ИОРАН, 2016. 282 с.

УДК 623.98

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Римский–Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А., Карабашева Э.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр. д. 36. 117997 г. Москва
8(495)719-03-70, nba1940@yandex.ru*

The paper presents a part of marine engineering of PP Shirshov Institute of Oceanology connected with monitoring of dangerous underwater objects. The data received in the course of monitoring may be used for forecasting possible extraordinary situations in the regions of sunken underwater objects.

Наличие подводных потенциально опасных объектов (ППОО) на дне морей определяет возможность внезапного формирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) на морских акваториях и причинения значительного материального ущерба, в отдельных случаях и гибели людей.

Подводные потенциально опасные объекты – это «... суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций» (Постановление Правительства РФ от 21.02.2002 №124).

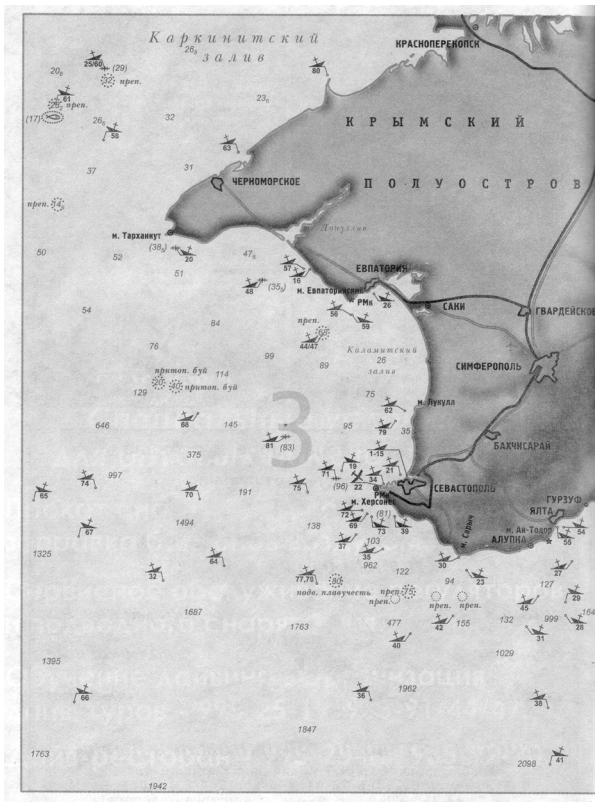


Рис. 1. Карта затопленных кораблей и судов в северо-западной акватории Крымского полуострова

Серия исследований, выполненных по заказу МЧС России, позволила оценить опасность затопленных боеприпасов, составить перечень затонувших кораблей и судов с боеприпасами, оценить скорость коррозии корпусов в морской среде, скорость выхода продуктов распада взрывчатых веществ. Анализ физико-химических свойств взрывчатых веществ и порохов в составе боеприпасов с учетом конструктивных особенностей оружия всех классов и видов позволил сделать определенные заключения о состоянии их под водой, в том числе и боезапаса времен второй мировой войны.

Опасность нахождения артиллерийских и минных боеприпасов на морском дне связана с подводными взрывами, ущерб при которых обусловлен, в основном, воздействием ударной волны на персонал (водолазы) и корабли (суда).

В Черном море основной вид подводных потенциально опасных объектов – это взрывоопасные объекты. В основном это корабли и суда с боезапасом, затопленные в ходе военных действий, отдельные взрывоопасные предметы.

Согласно данным карт о минной опасности в северо-западной части Черного моря из 1142 выставленных мин Второй Мировой войны, ликвидировано 514, осталось лежать на грунте 628.

Проблема нахождения на дне Черного моря подводных потенциально опасных объектов в основном связана с событиями Второй мировой войны и имеет несколько актуальных аспектов.

За 2001 год группа поиска и разминирования поисково-спасательной службы флота обезвредила и уничтожила в Севастопольском регионе, в том числе на дне бухт, 19 боеприпасов времен войны. В 2004 году на внешнем рейде Балаклавской бухты на 24-метровой глубине обезврежена 500-килограммовая немецкая фугасная авиационная бомба времен Великой отечественной войны.

Особый тип ППОО – затонувшие корабли и суда с нефтью и нефтепродуктами на борту.

В 1997, 1998 и 2000 гг. МЧС России проводились работы по определению состояния и оценке негативного воздействия затонувшего в сентябре 1986 г. пассажирского теплохода «Адмирал Нахимов» на экологическое состояние морской среды и обследованию районов комплексных захоронений боеприпасов вдоль российского побережья Черного моря.

На тот период обследование мест затопления взрывчатых веществ не выявило их влияния на уровни химического загрязнения донных отложений, придонной и поверхностной воды российского побережья Чер-

ного моря. Компонентов химического оружия в обследованных районах не было обнаружено. Загрязнение морской среды нефтепродуктами не превышало ПДК. Наблюдалось превышение фона валового содержания мышьяка в глубоководных донных отложениях исследованных районов.

Однако, учитывая отсутствие официальной информации о местах возможного захоронения химического оружия в российской части Черного моря, а также возможность их существования в областях захоронения боеприпасов, нельзя исключить вероятность выхода отравляющих веществ в морскую среду в будущем и переноса их течениями вдоль всего побережья.

При столкновении теплохода «Адмирал Нахимов» в результате разрыва стенок танков в море вытекло около 40 тонн дизельного топлива и 15 тонн мазута. По оценкам в танках теплохода осталось около 300 тонн мазута. Обследования состояния затонувшего теплохода, проведенные в 1997, 1998 и 2000 гг. показали, что теплоход левым бортом погружается в грунт. Это говорит о необходимости проведения регулярных обследований объекта.

Анализ ситуации с ППО показывает необходимость проведения мониторинга состояния затонувших объектов с взрывчатыми, отравляющими веществами и нефтепродуктами.

Было принято решение о проведении гидролокационного обследования районов нахождения ППО, а также подводных визуальных наблюдений, фото и видеозаписей затонувших объектов для оценки их состояния. Выполнение химического анализа проб воды и донных отложений на содержание тяжелых металлов, мышьяка, отравляющих веществ и продуктов их трансформации, нефтепродуктов, хлорорганических пестицидов, фенолов и др. Это позволит оценить влияния затонувших объектов на экологическую ситуацию Черном море и выработать предложения по проведению дальнейших работ с обнаруженными объектами.

Полученные в ходе мониторинга данные, могут быть использованы для прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций в районах нахождения затонувших объектов с взрывчатыми, отравляющими веществами и нефтепродуктами и выработки мер по предупреждению таких ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский–Корсаков Н.А.** и др. Итоговый отчет по государственному контракту №2/2 ПРСН от 22.05.2009г. «Мониторинг состояния подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ИО-РАН, 2009. 183 с.

2. **Вялышев А.И., Нерсесов Б.А., Римский–Корсаков Н.А.** «Исследование подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ФГБНУ «Аналитический центр», ИОРАН, 2016. 282 с.

УДК 623.98

КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ – АКВАТОРИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ, ПОДЛЕЖАЩАЯ РЕГИОНАЛЬНОМУ ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ

Римский-Корсаков Н.А., Нерсесов Б.А., Карабашева Э.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр. д. 36. 117997 г. Москва
8(495)719-03-70, nba1940@yandex.ru*

The Kerch Strait is one of the Black Sea shallow areas. This place is known for strong winter storms. There is a lot of ships and ammunition sunken in 1941–1943.

Керченский пролив связывает Азовское и Черное моря. Его длина составляет 45 км, ширина – 4,5–15 км. Гидрографической особенностью пролива является его мелководность (глубины не более 18 м, и то в районе фарватера).

Пролив является одним из характерных акваторий Черного моря, отличающихся интенсивными зимними штормами и ледоходом, что необходимо учитывать при навигации судов и экологических последствиях разлива нефтепродуктов, связанных с их авариями в акватории пролива.

Кроме того, учитываются особенности акватории Керченского пролива в связи с активными боевыми действиями в 1941–1944 гг. В связи с этим проводятся подводные работы по обнаружению потенциально опасных объектов: затопленных кораблей, судов, а также захоронений боеприпасов.

В 2015 году саперами МЧС найдены и обезврежены 90 боеприпасов, в том числе 100 и 200-килограммовых авиабомб.

Эти факторы влияют на проведение работ по строительству уникального (двух полостного железнодорожного и четырех полостного автомобильного) моста между Крымским и Таманским полуостровами через остров Тузла и Тузлиную косу.

Общая протяженность моста – 19 км, длина морской части: от косы Тузла до острова – 7 км, от острова Тузла до Керчи – 6,1 км. Протяженность острова – 6,5 км. Основной пролет арки моста – 227 м, высота свода над водой – 35 м.

Несущие конструкции моста- сваи (трубы диаметром 1420 мм) с глубиной их погружения – 90 м.

В настоящее время по трассе моста проводятся инженерно-геологические изыскания по оценке влияния гидрографических и метеорологическом факторов при возведении моста, которое планируется закончить в 2018 году.

Затопленные корабли и суда

Во время Великой отечественной войны в Керченском проливе, согласно историческим данным, погибло более сотни судов и плавсредств, как со стороны Красной Армии, так и со стороны противника.

Большинство затопленных объектов (обеих враждующих сторон) представляют собой небольшие катера, мотоботы, сейнеры и т.п., погибшие во время проведения двух десантных операций: Керченско-Феодосийской (25.12.1941–2.01.1942) и Керченско-Эльтигентской (30.10–11.12.1943).

Самыми многочисленными немецкими судами в проливе были быстроходные десантные баржи. В общей сложности за период с 1941 по 1943 г. их потоплено около 22 единиц.

Кроме того, в Керченском проливе немцами и их союзниками было потеряно от мин и авиации Черноморского флота около 70 плавсредств. Причем, большинство из них затонули на отмелях косы Тузла и косы Чушка (около 20).

Разливы нефтепродуктов в результате экологических аварий и катастроф

К природным катаклизмам, приводящим к кораблекрушениям, а, следовательно, к экологическим катастрофам, можно отнести сезонные ураганы и штормы. Так сильный шторм 12.11.2007 г. стал причиной крупной экологической катастрофы в Азовском и Черном морях.

В этот день затонули 4 судна, а 6 – сели на мель. Кроме того, 2 танкера получили повреждения.

После шторма и вызванных им аварий судов обнаружено нефтяное пятно протяженностью 12 км. В результате кораблекрушений в воду попало около 6,8 тысячи тонн серы и около 1,3. тысячи тонн мазута.

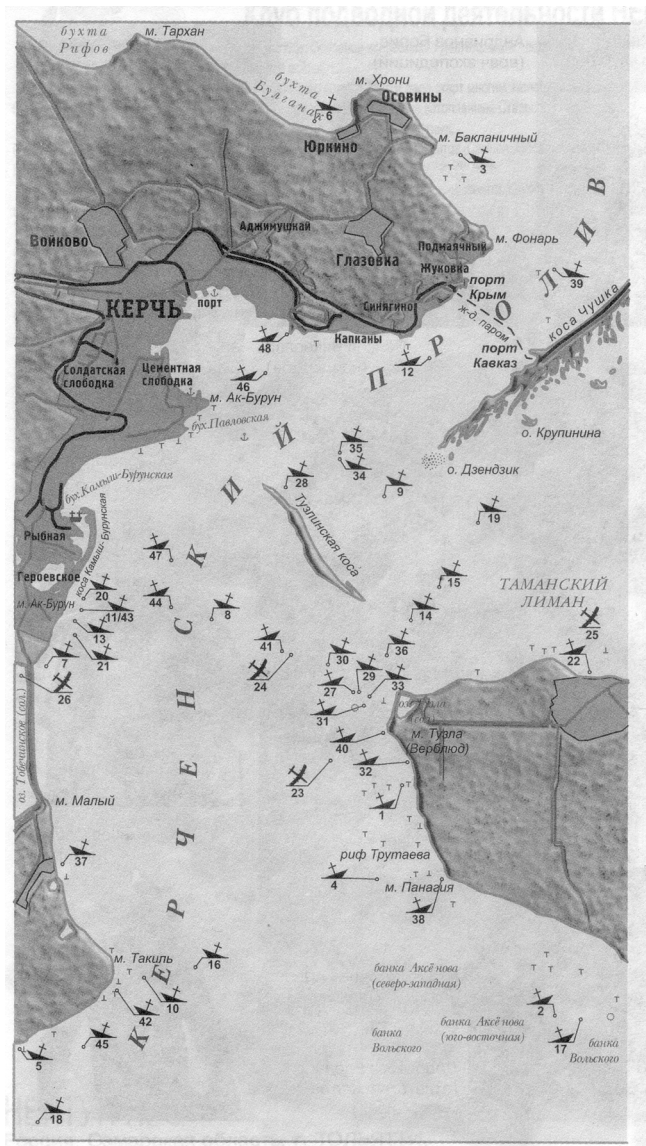


Рис. 1. Карта затопленных (в 1941–1944 гг.) судов и плавсредств в Керченском проливе



Рис. 2. Авария транспорта, выброшенного штормом на берег Керченского пролива

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский–Корсаков Н.А.** и др. Итоговый отчет по государственному контракту №2/2 ПРСН от 22.05.2009г. «Мониторинг состояния подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ИОРАН, 2009. 183 с.

2. **Вялышев А.И., Нерсесов Б.А., Римский–Корсаков Н.А.** «Исследование подводных потенциально опасных объектов в Черном море». – М.: ФГБНУ «Аналитический центр», ИОРАН, 2016. 282 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА «МАГЕЛЛАНОВЫ ГОРЫ (ТИХИЙ ОКЕАН)»

Жулева Е.В.¹, Рашидов В.А.², Метальников А.А.¹

*¹ Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-49,*

*² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
бульвар Пийна, 9, 683006, г. Петропавловск-Камчатский,
8(4152)202048,*

The paper describes the management of storage of geomorphologic and geologic-geophysical data on Magellan Seamounts in the Pacific Ocean in a custom made Data Resource (<http://guyot.ocean.ru/>)

Проблема создания единой информационной системы об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) требует решения вопроса организованного хранения разнообразных данных о различных районах донного пространства.

На современном этапе, благодаря проведению комплексных экспедиционных исследований, появляются детально изученные структуры океанического дна.

Одной их таких структур в Тихом океане являются Магеллановы горы. Гайоты этих гор изучались сотрудниками отечественных академических институтов в рейсах на НИС «Академик Александр Несмеянов», «Академик Мстислав Келдыш» с использованием глубоководных подводных обитаемых аппаратов «Пайсис», НИС «Вулканолог». Большой объем работ в этом районе выполнил ГНЦ «Южморгеология» на НИС «Морской геолог», «Север», «Севморгеология» (впоследствии – «Дальморгеология»), «Профессор Федьинский» и «Геолог Петр Андропов». В 1986 г. на одном из гайотов центральной части Магеллановых гор в рейсе ВНИРО было выполнено погружение на обитаемом аппарате «Север-2».

В рейсах специализированного судна «Гломар Челленджер» в районе Магеллановых гор пробурены скважины глубоководного бурения 199, 200, 201, 202, 452А и 585, а в рейсе специализированного судна «Гломар Эксплорер» – скважины 800, 801 и 802.

Интерес к этому району Мирового океана связан, в первую очередь, с обнаружением на вершинах и склонах гайотов Магеллановых гор скоплений железомарганцевых образований, перспективных для добычи марганца, никеля и кобальта. В 2015 г. Россия получила эксклюзивное право разведки рудных полезных ископаемых в районе Магеллановых гор на 15 лет [1], что, несомненно, усилило необходимость всестороннего изучения этой океанической структуры отечественными учеными.

В 2012-2014 гг. при финансовой поддержке РФФИ был осуществлен Проект, направленный на решение вопроса об организации хранения всей доступной геоморфологической и геолого-геофизической информации о Магеллановых горах, включая оригинальные авторские материалы. Продолжительная работа с разнообразными первичными данными экспедиционных исследований Магеллановых гор, с привлечением большого объема существующих литературных источников и материалов из сети Интернет, побудила авторов Проекта предложить в качестве варианта объединения и концентрации сведений о строении этого геолого-геоморфологического объекта создание информационного ресурса (ИР) [2, 3].


В настоящее время ИР «Магеллановы горы (Тихий океан)» функционирует на сервере Института океанологии РАН и служит открытым инструментом информационного обеспечения для широкого круга специалистов. ИР включает в себя базу данных (БД) по 26 гайотам и подводным горам, геоинформационную систему (ГИС) и web-сайт, расположенный по адресу <http://guoyot.ocean.ru/> (рис. 1).

Организовано взаимодействие ГИС, БД и web-сайта.

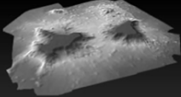
Систематизация данных и представление информации проведены на двух уровнях: региональном и локальном.

На региональном уровне дается характеристика Магеллановых гор в целом: особенностей их рельефа с выделением основных структурных элементов, их стратиграфии, магматизма и тектоники, а также обнаруженных на них полезных ископаемых, в качестве которых выделены железомарганцевые руды и фосфаты. Описание базируется на обобщении большого объема литературных материалов, список которых приведен в специально оформленном разделе «Библиография». В настоящее время раздел содержит 159 наименований, из них 115 на русском и 44 – на иностранных языках.

Обзор экспедиционных работ, проделанных на Магеллановых горах отечественными и зарубежными судами, приведенный в разделе «Экспедиции научно-исследовательских судов», позволяет создать представление об обилии фактических данных, интегрированных в ИР.



Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Магеллановы горы (Тихий океан)
Информационный ресурс



Главная
О проекте
Что такое гайоты?
База данных гайотов
Контакты
Поиск по сайту

Вы здесь: Главная

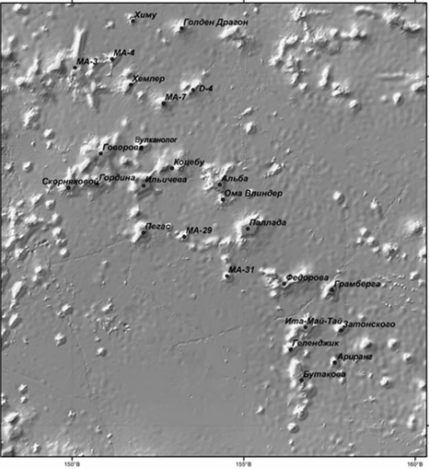
- Интерактивная карта расположения гайотов
- База данных гайотов района Магеллановы горы
- О проекте Магеллановы горы (Тихий океан)
- Характеристика региона Магеллановы горы
- Эволюция научно-исследовательских судов
- Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
- Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
- ГИЦ Кюмпереология
- Институт геологии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
- Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН
- Библиография
- Поиск по сайту

Запомнить меня

- Забыли пароль?
- Забыли логин?

Карта расположения гайотов в районе Магеллановых гор

Для перехода к [базе данных](#) по исследованным гайотам выберите и нажмите кнопку Ваш название на интерактивной карте (или, ниже)



Быстрый переход к описанию гайотов:

Альба, Булгакова, Вулканово, Гельванди, Говорова, Голден Драгон, Гордана, Грандберг, Златоскопа, Кокобу, Иглицева, Илья-Владо-Тай, D-4, МА-3, МА-4, МА-7, МА-29, МА-31, Ома-Влиндер, Пильлаби, Пелао, Сторонский, Федорова, Хамлер, Хому

Проект «Информационный ресурс Магеллановы горы (Тихий океан)» выполняется Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Институтом геологии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ГИЦ Кюмпереология, Государственным геологическим музеем им. В.И. Вернадского РАН при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проект РФ-01 № 12-05-00874-а. Для перехода к базе данных гайотов выберите пункт меню «База данных гайотов».

Рис. 1. Главная страница информационного ресурса с интерактивной картой

Поскольку большая часть Магеллановых гор представляет собой гайоты, в Проект включен раздел «Что такое гайоты?», в котором проводится обобщенное описание морфологии этих форм рельефа и теоретический обзор особенностей их формирования и эволюции.

Переход на локальный уровень к характеристике каждого гайота системы в БД происходит через помещенную на главной странице ИР интерактивную батиметрическую карту Магеллановых гор. Так как участники Проекта принимали непосредственное участие во многих экспедициях по изучению гайотов Магеллановых гор и в обработке получен-

ных материалов, описания гайотов содержат большое количество оригинальных данных.

Активное использование ГИС-технологий позволило не только создать графические макеты изучаемого пространства (3D карты рельефа, карты уклонов склонов и т.п.), но и послужило решению прикладных задач, например, построения численных моделей формирования железорудных корок.

Информация в БД представлена текстом, таблицами и крупномасштабными батиметрическими, геологическими и геофизическими (магнитное поле, гравиметрическое поле) картами, количество которых зависит от степени изученности гайота.

Важной особенностью проекта является возможность постоянного дополнения набора данных вновь поступающими материалами. Также система управления проектом содержит функцию добавления новых полей данных, количество которых может быть установлено и впоследствии расширено в соответствии с набором имеющихся данных исследований. Это дает возможность отразить максимально полное описание объекта исследования (гайота).

Система управления проектом снабжена развитым административным интерфейсом и допускает удаленный доступ к административному интерфейсу, а также возможность одновременного подключения большого количества пользователей (до 30). Это позволяет выполнять операции размещения и редактирования данных сотрудниками, территориально находящимися в различных организациях. Кроме того, система управления проектом обеспечивает возможность оперативной работы с данными сотрудникам, находящимся в экспедиционных условиях.

С момента своего ввода в эксплуатацию и до настоящего времени ИР стабильно работает и является востребованным не только у специалистов, занимающихся исследованиями гайотов Магеллановых гор, но и у различных ученых, изучающих подводные горы Мирового океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. ria.ru/economy/20150312/1052102620.html
2. **Жулева Е.В., Рашидов В.А., Метальников А.А., Чесалова Е.И.** Специализированный информационный ресурс «Магеллановы горы (Тихий океан)» // Геоинформатика. 2015. № 4. С. 54-62.
3. **Жулева Е.В., Рашидов В.А., Чесалова Е.И.** Информационный ресурс «Магеллановы горы (Тихий океан)» как система хранения и отображения сведений о рельефе подводных гор // Геоморфология. 2016. № 4. С. 35–42.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ РЕЛЬЕФА МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ПОДВОДНОЙ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА

Каевецер В.И.¹, Никифоров С.Л.², Римский-Корсаков Н.А.^{2,3},
Смолянинов И.В.¹, Сорохтин Н.О.², Элбакидзе А.В.¹

¹ ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г.Фрязино Московской обл.

² Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва, nrk@ocean.ru

³ МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва

Geological and geomorphological instrumental monitoring with the help of geophysical equipment was carried out on the South slope of the spur shaft Murmansk in the Barents Sea. New data on the structure of the bottom were obtained. Specific landforms related usually to places of underwater methane discharge were discovered.

Район исследований представляет собой изогнутый к западу и вытянутый на 20 км при ширине от 5 до 10 км полигон, простирающийся в нескольких километрах от побережья, на склоне южного отрога Мурманского вала. Южное окончание полигона расположено на выходе из Кольского залива, а западное ограничено траверсом Ура-губы. Схема района приведена на рис. 1. В районе были выполнены инструментальные геолого-геоморфологические наблюдения с использованием комплекса геофизической гидролокационной аппаратуры [1], который включал:

– акустический профилограф, использующий линейно частотно-модулированные зондирующие сигналы и корреляционную обработку принятых эхо-сигналов;

– батиметрический гидролокатор бокового обзора, использующий интерферометрический метод измерения глубин места в полосе обзора, а также линейно частотно-модулированные зондирующие сигналы, позволяющие увеличить энергетический потенциал и дальность действия гидролокатора.

На рис. 2 приведен пример синхронного представления гидролокационной, батиметрической и геофизической информации, полученной в районе исследований. В верхней части рисунка представлено гидроло-

кационное изображение поверхности дна, на котором зарегистрированы объекты типа покмарок – углублений в грунте, как правило, приуроченных к местам подводной разгрузки газообразных углеводородов. В центре рисунка приведена батиметрическая схема дна участка, соответствующего поверхности дна в полосе обзора гидролокатора. В нижней части рисунка приведено изображение разреза верхней 50-метровой толщи донных отложений, полученное с помощью акустического профилографа вдоль линии, отмеченной на верхних планах. Аналогичная информация, характеризующая строение поверхности и верхней толщи рыхлых отложений была получена для всего района, представленного на рис. 1.

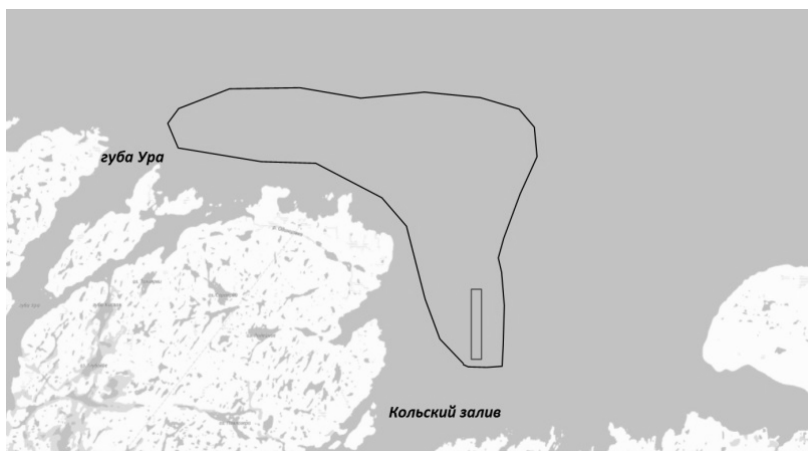


Рис. 1. Схема района исследований. Прямоугольником очерчен участок соответствующий гидролокационной информации, приведенной на рис. 2

Анализ этой информации, а также общих сведений о тектонических структурах океанского дна [2] и его строении в районе исследований, позволяет сделать следующие заключения. Кольский залив является типичным фиордом тектоно-эрозионно-ледникового происхождения с расчленением рельефа близким по типу к норвежским фиордам, хотя и с более сглаженным рельефом. Для его очертаний характерны коленчатые изгибы субширотного и субмеридианального направлений, связанные с формированием ортогональной системы разломов, широко развитой в пределах Кольского полуострова. Подводный береговой склон Мурманского побережья характеризуется большой приглубостью, что связано с

его сбросовым происхождением. Изобата 100 м проходит близко от береговой линии, на расстоянии 5–10 км. Южный склон Мурманского вала, представляет серию узких грабенов. Для описываемого района, как и всего баренцевоморского шельфа, характерно прямое соотношение линейных тектонических структур и крупных брахиформ рельефа, т.е. поднятым блокам и антиклиналям соответствуют подводные возвышенности, протяженные валы, отдельные острова или архипелаги, а опущенным сбросово-глыбовым структурам и синклиналям – депрессии, прогибы, желоба, впадины и пр. Мурманский вал является антиклинальной геологической структурой, осложненной сбросами, а поверхность южного склона покрыта толщей рыхлых терригенных и ледниково-морских отложений.

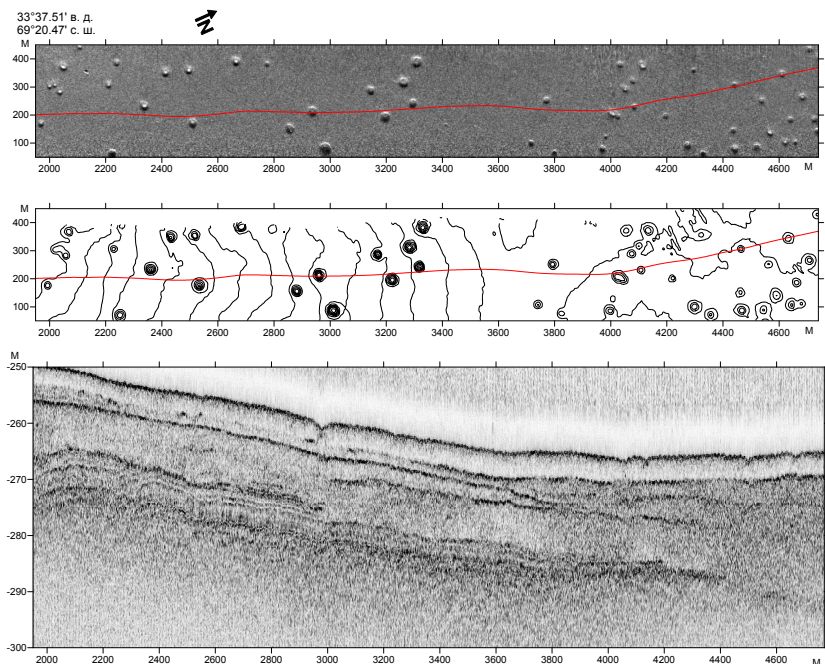


Рис. 2. Пример синхронного представления гидролокационной, батиметрической и геофизической информации, полученной на прямоугольном участке (рис. 1) в районе исследований

Исследуемый район находится в непосредственной близости от зоны сочленения двух разновозрастных литосферных плит, одна из которых представлена комплексами древнего (около 3 млрд. лет) Балтийского щита, а другая – Баренцевоморская имеет возраст фундамента около 1 млрд. лет. В результате изостатического выравнивания поверхности континентальной коры более древний блок литосферы закономерно оказался существенно более приподнятым, а более молодой опущенным и перекрытым мощным слоем осадочного чехла.

Процессы тектонической активизации палеозойского и мезозойского возраста, связанные с каледонским и герцинским этапами сформировали вдоль границы двух литосферных плит Норвежско-Мезенскую систему грабенов и рифтов северо-западного простирания, осложненных крупными субмеридианальными разрывными нарушениями сдвигового и сдвиго-раздвигового типов.

Возникновение ортогональной системы трещин в перекрытой мощным слоем обводненных осадков континентальной литосфере Баренцевоморской плиты привели к интенсивным тектоно-термальным процессам в ее толще и способствовали преобразованию органического вещества в углеводороды. Благодаря этому, верхняя часть осадочного чехла оказывается газонасыщенным слоем, фронт которого при достижении поверхности прорывается в гидросферу и атмосферу. В исследуемом регионе широко развиты следы проявления этого процесса, приуроченные в основном к зонам региональной трещиноватости и представленные большим количеством покмарков. Эти зоны маркируются выбросами газа, формирующегося в основном за счет преобразования органического вещества. Наряду с этим, процессы проникновения на большие глубины метеорной воды и подъема фронта магмаобразования в областях разрыва сплошности и раздвига литосферы могут приводить к генерации abiогенного метана за счет перекристаллизации и гидратации части минералов. Смешение двух генетических типов углеводородов усиливают процессы дегазации континентальной коры и увеличивают степень регенерации газового фронта, позволяя ему существовать многие миллионы лет.

Можно предположить, что более древние тектонические зоны дегазации метана будут содержать больше abiогенного газа, а более молодые разломы способствовать прорыву в основном газа органического происхождения. Проведенные в районе работ сейсмоакустические исследования показали, что большинство выбросов метана, маркируемых покмарками, имеют субмеридианальное простирание и приурочены к тектоническим разломам.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каевицер В.И., Римский-Корсаков Н.А., Смолянинов И.В., Разманов В.М., Кривцов А.П.** Возможные проявления подводных грязевых вулканов по результатам гидролокационных исследований в акватории таманского полуострова. Океанология, 2016. Т. 56. №4. С.51–57.

2. **Зоненшайн Л.П., Непрочнов Ю.П.** Геолого-геофизическая характеристика основных тектонических структур. – В кн. Океанология. Геофизика океана. Том 1. Геофизика океанского дна. С.409–435.

УДК 634.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЕЙСМОАКУСТИКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТРАСС ПОДВОДНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Левченко О.В., Мелузов А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
nnd2008@rambler.ru*

The results of acoustic monitoring of underwater gas pipelines in the seas of the Arctic Ocea are observed.. The possibilities of using high resolution parametric narrow beam systems for monitoring the position of the pipeline rout are discussed.

В докладе рассматриваются результаты акустического мониторинга положения трасс подводных газопроводов на примере морей Северного Ледовитого океана. Обсуждаются возможности использования узколучевых параметрических систем для мониторинга положения трасс трубопроводов.

В последнее время на шельфе морей Северного Ледовитого океана интенсивно развиваются обеспечивающие процессы нефте и газодобычи инженерные инфраструктуры, включающие значительное количество трасс и ниток газопроводов, находящихся в стадии эксплуатации или строительства. При мониторинге положения ниток газопроводов, проложенных непосредственно по дну (без заглубления), традиционной и наиболее эффективной технологией является гидролокация бокового обзора в совокупности с высокочастотным узколучевым эхолотирова-

нием, Совместное использование этих двух методов позволяет с высокой степенью достоверности и точности, регистрировать положения ниток газопровода на дне с их пространственно-координированной привязкой. Подводный заглубленный газопровод при его перпендикулярном пересечении узколучевым эхолотом с акустической точки зрения будет представлять локальный объект, характерные размеры которого определяются диаметром трубы. Подобный локальный объект на эхограмме будет изображаться в виде расположенной в месте объекта (в данном случае верхней границы трубы) яркостной отметки, обрамленной загибающимися вниз параболическими ответвлениями – "усиками", которые возникают как артефакты за счет конечной ширины направленности приемо-излучающей системы. Ширина раствора артефактов определяется общей геометрией опыта (диаметр трубы, глубина места, глубина излучателя и т.д.) и в некоторых случаях может быть точно математически вычислена). На рисунке 1 приведена характерная эхограмма пересечения лежащего на дне газопровода узколучевым высокочастотным эхолотом.

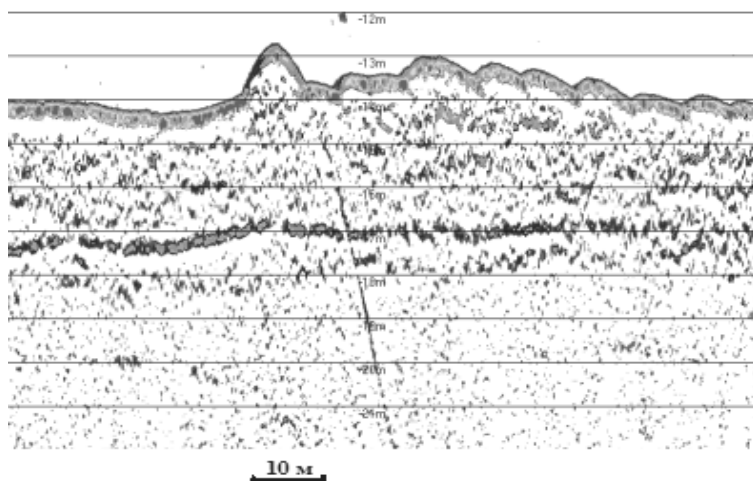


Рис. 1. Эхограмма пересечения трубопровода высокочастотным узколучевым эхолотом-профилографом

Ситуация существенно усложняется при прокладке трасс трубопроводов в специально вырытых траншеях с последующей их засыпкой. Возможности метода ГБО в этом случае ограничиваются в лучшем слу-

чае индикацией засыпанной траншеи. Истинное положение трубы внутри траншеи остается неизвестным. Авторами накоплен достаточно большой опыт использования акустических систем для дистанционного зондирования заглубленных трубопроводов, на основании которого был сделан вывод, что наиболее перспективным для решения этих целей является использование узколучевых параметрических низкочастотных эхолотов-профилографов. Одним из таких приборов (который по нашей оценке в настоящее время является наилучшим на мировом рынке) является эхолот-профилограф SES-2000, производства немецкой фирмы INNOMAR, Германия, на материалах, полученных при использовании которого и основано настоящее сообщения. В приборе в результате ряда технических решений наряду с функцией узколучевого высокочастотного эхолота реализуются: функция низкочастотного узколучевого эхолота-профилографа, низкая частота которого обеспечивающая хорошее проникновение зондирующего сигнала в грунт; а высокая частота следования импульсов (20–50 в секунду) и узкая диаграмма направленности излучаемого сигнала, которая составляет всего +/- 1.8 град., повышают достоверность распознавания объектов малых размеров и пространственное разрешение прибора. Для подобной узколучевой системы алгоритм работы является многократное поперечное пересечение трассы газопровода по системе близлежащих параллельных галсов с последующей координатной привязкой точек пересечения и построением реального положения нитки газопровода в вертикальной и горизонтальной координатах. Подводный заглубленный газопровод при его перпендикулярном пересечении узколучевым эхолотом с акустической точки зрения, как и ранее, будет представлять локальный объект с характерным размером вдоль направления движения, определяемым диаметром трубы. На сейсмограмме он будет изображаться в виде расположенной в месте объекта (в данном случае верхней границы трубы) яркостной отметки, обрамленной загибающимися вниз «усиками». В качестве примера можно привести рис. 2, где индикация трубы, расположенной в частично засыпанной траншее, не вызывает сомнений.

Сказанное выше справедливо только для тех случаев, когда структура дна над обнаруживаемым объектом является ненарушенной и выполняются по крайней мере, два условия: обеспечивается проникновение сигнала на глубину объекта; структура грунта вокруг объекта достаточно однородна и в ней отсутствуют сильные отражающие включения. К сожалению, на практике указанные условия соблюдаются далеко не всегда. Трубы газопроводов укладывают обычно в траншеи, которые присыпают сверху различным обломочным материалом. В некоторых

особо неблагоприятных случаях присыпка создает над трубой полностью акустически непрозрачный экран. При этом акустическое обнаружение трубы становится практически невозможным и метод в принципе перестает работать. В других случаях качество и количество насыпанного сверху грунта хотя и обеспечивает проникновение акустического сигнала на нужную глубину и соответственно полезное отражение от трубы, но создает большое количество ложных отражений, которые по виду подобны отражению от трубы.

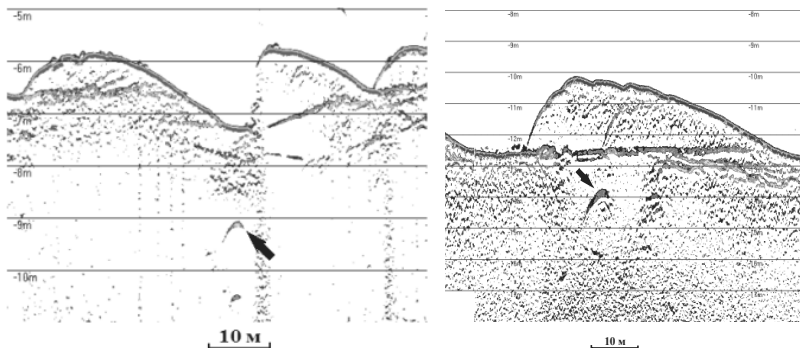


Рис. 2. Фрагменты сейсмограмм трубопровода в частичной засыпанной траншее в 2 м под дном (слева) и в 3,5 м под песчаным холмом (справа)

По результатам проведенных работ авторами сделаны следующие основные выводы:

1. Показана принципиальная возможность эффективного использования высокоразрешающей сейсмоки для определения положения ниток газопроводов расположенных в специально отрытых траншеях

2. При условии правильной идентификации метки на экране эхолота-профилографа, как соответствующей отражению от трубы, дальнейшее определение глубины её залегания может быть выполнено с достаточно высокой точностью порядка 20 – 30 см.

3. Ключевым в данном методе является идентификация метки на экране, как соответствующей отражению от трубы, что в общем случае может быть корректно выполнено только при наличии некоей априорной информации о предполагаемом месте расположения трубы (фактическое положение траншеи, данные о первоначальных параметрах укладки трубы и т.п.).

4. Если такая информация отсутствует полностью, то есть, мы пытаемся найти трубу, даже примерно не зная, где она может находиться, то метод будет работать только в исключительно благоприятных акустических условиях. Чем более полна априорная информация, тем более узок коридор поиска и тем более вероятна правильная идентификация метки на экране, соответствующей положению трубы. В случае правильной идентификации метки её качество на дальнейшее определение точностных параметров расположения трубы практически не влияет.

УДК 634.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЕЙСМОАКУСТИКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ СО ДНА В МОРЯХ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Росляков А.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499) 1245996,
nnd2008@rambler.ru*

The results of using high resolution acoustic for monitoring of underwater gas emission from the bottom in the seas of the Arctic Ocean are observed.

В докладе рассматриваются результаты использования высокоразрешающей сейсмоакустики для мониторинга процессов эмиссии газа из донных отложений на примере морей Северного Ледовитого океана.

Сейсмоакустические, гидролокационные и батиметрические исследования на шельфах северных морей РФ, выполнявшиеся сотрудниками ИО РАН, показали обширное распространение в данном регионе донных газонасыщенных осадков, сопровождаемое высачиванием (сипингом) углеводородных газов, проявляющимся в виде газовых «факелов» и пузырьковых струй в водной толще, покмарков в рельефе морского дна [1, 2].

В настоящее время выделение большого количества УВГ из осадочных отложений считается одной из возможных причин климатических изменений, долговременных в масштабе истории человеческой цивили-

зации и быстрых в геологическом масштабе времени. В работе рассматриваются различные аспекты использования высокоразрешающей сейсмоакустики для изучения верхней осадочной толщи и рельефа морского дна с целью выявления, определения интенсивности и картирования газовыводящих путей выбросов метана, в том числе и за счет деградации многолетнемерзлых пород.

Наиболее информативным с точки зрения прямой регистрации выходящих в воду газовых потоков является высокочастотное эхолотирование, которое осуществлялось с помощью эхолота-профилографа SES-2000, позволявшего идентифицировать практически все формы газовой выделения – от одиночных мелких источников (рис. 1а) до сплошных газовых факелов, протяженностью до 1 км (рис. 1б). Записи на рис. 1а и 1б относятся к скорости судна 5 узлов, запись на рис. 1в – к судну, стоящему на якоре.

За счет высокой разрешающей способности и узкой диаграммы направленности эхолота при записи эмиссии газа с неподвижно стоящего на якоре судна (рис. 1в), мы получаем картину не с виде обычной хаотичной засветки газонасыщенной области на экране, а в виде упорядоченно расположенных в этой области наклонных полос, соответствующих движению вверх отдельных пузырьков газа или возможно их консолидированных групп,

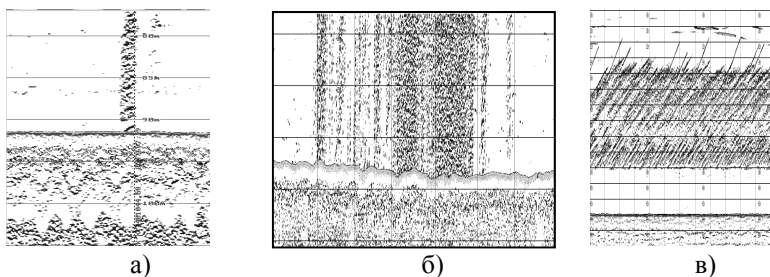


Рис. 1. Эхограмма истечения газа со дна при разных скоростях движения судна

Зная временной и вертикальный масштабы записи на экране и определив угол наклона прямых линий к горизонту, несложно вычислить скорость вертикального подъема пузырьков газа. Для приведенного выше рисунка эта величина составляла около 40 см/сек.

Использование профилографа SES-2000 для пространственного картирования положения газовых факелов, хотя и позволяет обнаружить

практически все признаки эмиссии газа, ограничивается тем фактом, что система является одноканальной, и для обеспечения точного пространственного картирования процесса эмиссии требуется частая сетка галсов. Авторами были сделаны попытки использования для этих целей многолучевого эхолота WASSP WMB-3250. С учетом того, что данный эхолот имеет функцию записи данных при прохождении зондирующего сигнала через водную толщу, удалось получить пространственно привязанную площадную картину эмиссии газа со дна, которая приведена на рис. 2. Таким образом, показана принципиальная возможность получения с помощью многолучевого эхолота, одновременно с батиметрическими данными, пространственной картины эмиссии газа со дна.

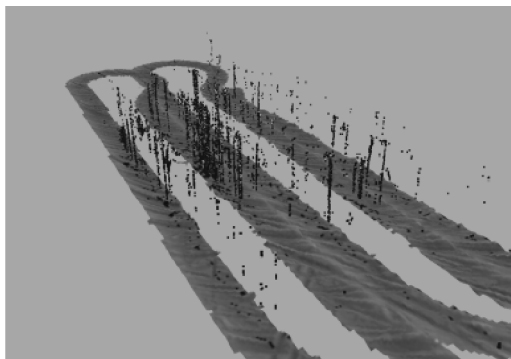


Рис. 2. Пространственная картина эмиссии газа из дна, полученная с помощью многолучевого эхолота WASSP WMB-3250

Кроме прямой регистрации исходящего со дна газа большой интерес представляет регистрация мест, где такая эмиссия потенциально возможна и наиболее вероятна. Одними из таких мест являются так называемые «газовые карманы», то есть области под дном с повышенным содержанием газа, закрытые сверху газонепроницаемым слоем осадков. Подобные зоны аномального газонасыщения уверенно выделялись с помощью сейсмопрофилографа SES-2000 Standard, признаками газонасыщенности осадков на сейсмических записях являлись: резкое возрастание амплитуды отражений, появление большого количества дифрагированных волн, экранирование нижележащих границ (зоны акустической тени), задержка времени регистрации отражений от нижележащих границ, вызывающая их ложное прогибание, куполообразные и конусообразные вертикально ориентированные области акустически прозрач-

ной или хаотической записи, резко дискордантные отражения от субгоризонтальных геологических границ. Проведенный в некоторых подобных местах пробоотбор и последующий анализ керна подтвердили интерпретацию подобных аномалий как зон повышенной газонасыщенности.

В качестве примера на рис.3 приведены записи низкочастотного канала профилографа, где акустические аномалии проявляются на глубине около 1 м под дном в виде дифрагированных волн (слева) и П – образных зон акустической тени (справа).

На основе проведенных работ авторы считают, что совместное комплексное использование параметрического эхолота-профилографа SES 2000 и многолучевого эхолота WASSP WMB-3250 в совокупности с качественным навигационным обеспечением позволяет решать большинство задач, связанных с обнаружением, картированием и мониторингом процессов газовыделения со дна шельфовой зоны морей Северного Ледовитого океана.

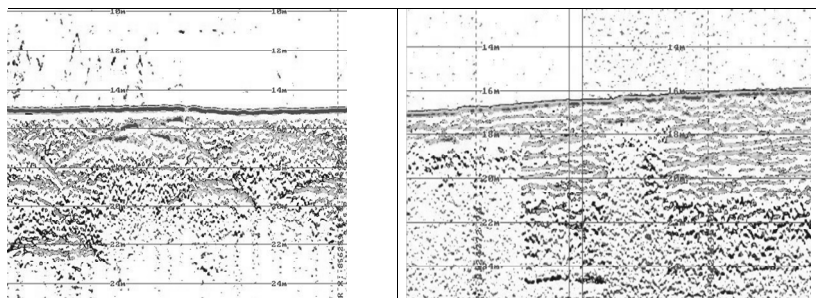


Рис. 3. Признаки аномальной газонасыщенности отложений по данным сейсмопрофилографа SES-2000

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г.** Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях восточной Арктики в 57-м рейсе НИС «Академик Лаврентьев»// *Океанология*. 2012.Т.52. №4. С.617–620.

2. **Сергиенко В.И., Лобковский Л.И., Семилетов И.П. и др.** Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики, как возможная причина “метановой катастрофы”: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года. // *Доклады Академии наук*. 2012. Т. 446. № 13. С.330–335.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Либина Н.В.¹, Черников А.Г.²

*¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-47
lnatvit@mail.ru*

*²Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Крюковский; туп., д.4, 111020, г.Москва, 8(495)360-8960
AGChernikov@mail.ru*

Adapting the method of probabilistic prediction and construction of 3D velocity model of the study area to the modeling of hydrological fields. The forecast calculations can be performed on remote sensing data and instrumental observations on the surface.

Суша, водная толща, переходная зона берег-море, поверхность дна и массив подстилающих дно пород, береговая зона обеспечивающая приток поверхностных вод – являются единой, относительно стабильной во времени гео-гидро-динамической системой, в которой все части находятся в непрерывном взаимодействии. Изучение взаимосвязей этих сред, как элементов сложной системы, требует их совместного исследования и создания, в перспективе, единой модели, отображающей, помимо внутреннего строения и свойств, также динамику протекающих процессов.

Нами разработан и опробован метод оперативного прогнозирования и построения трехмерной модели внутренней структуры массива пород под поверхностью дна (метод Марковской томографии) [1,2]. Математической основой метода является теория Марковских процессов (Марков А.А.1907), Метод прогнозирования строения массива горных пород базируется на предположении о наследовании марковских свойств рельефа поверхности дна или геофизических полей, дистанционно замеренных над исследуемым районом, в марковских свойствах глубинных границ подповерхностных отложений. Каждая из гипотетических границ может быть математически описана в виде простой однородной марковской последовательности отметок значений свойств по множеству профилей, секущих границу. Согласно теории марковских процессов,

предыдущее состояние (марковское свойство подстилающего слоя) вероятностно определяет состояние последующее — марковское свойство покрывающего слоя. Это не означает прямое наследование предшествующих свойств последующими. Наследуются (вероятностно) собственно марковские свойства. При изучении последовательности событий можно рассматривать любые интервалы в качестве "прошлого" и "настоящего" и тем самым воспользоваться марковским свойством для предсказания следующего состояния системы. Расчет осуществляется путем трансформации значений потенциального поля в поле марковских состояний и последующего его пересчета в 2-х виртуальных окнах в соответствии с алгоритмом, имитирующим измерительную установку, применяемую в разведочной геофизике при вертикальном электрическом зондировании. В результате проведенной обработки, исходное физическое поле преобразуются в глубинный прогноз изменчивости значений переходных вероятностей случайной марковской последовательности. [1, 2]. Глубину зондирования и детальность прогноза определяют: ширина окна сканирования (количество точек в исследуемой последовательности), шаг наблюдения (расстоянием между точками), число определенных на шкале глубин марковских состояний (аналог частоты зондирования).

Рассматривая изменение параметра (например температуры) на поверхности моря, как результат всех оказанных на него метеорологических и гидродинамических воздействий, можно допустить, что такая изменчивость является Марковской цепью, укрупненной по множеству состояний. Исходя из этого, можно сделать вывод о возможности применения метода Марковской томографии для анализа пространственной изменчивости водной толщи, детализации гидрологических разрезов. В качестве исходных данных могут использоваться цифровая карта физического поля, или галс промерных данных, например, температурных, измеренных непосредственно в приповерхностной области водной толщи или температура на поверхности моря, полученная с ИСЗ.

Для опробования метода моделирования разреза использовались значения приповерхностной температуры измеренной на глубине 1.5 м, проточным флуориметром при движении судна вдоль профиля ст. № 12 – № 20 у мыса Песчаный в восточной части Каспийского моря [3]. Измерения выполнены 12.06.2010. Изменение приповерхностной температуры вдоль профиля (рис. 2а) показано красной линией. Синяя линия – сглаженный скользящим средним (с окном 15 точек) график изменчивости приповерхностной температуры вдоль профиля, непосредственно используемый при расчете. Вертикальное распределение температуры

на станциях, расположенных через 1 милю, и рассчитанный по ним интерполяционный разрез показаны на рис. 1в. Нижняя придонная часть разреза приведена в уменьшенном масштабе. Светлыми линиями выделен термоклин. Результаты инструментальных наблюдений (СТД-зондирования и приповерхностного измерения температуры вдоль галса), а также температура поверхности моря по данным ИСЗ AQUA, показали, что в период наблюдений в исследуемом районе наблюдался апвеллинг. Для учета температурной стратификации водной толщи по данным одной из станций зондирования (№ 15) была получена плоскопараллельная модель вертикальной изменчивости температуры. Такая модель является предельным вариантом стратификации разреза, получаемого при минимуме данных зондирования. Рассчитанный по методу Марковской томографии температурный разрез показан на рис. 1б. На полученном разрезе более выражен апвеллинг, а также наблюдается присутствие внутренних волн.

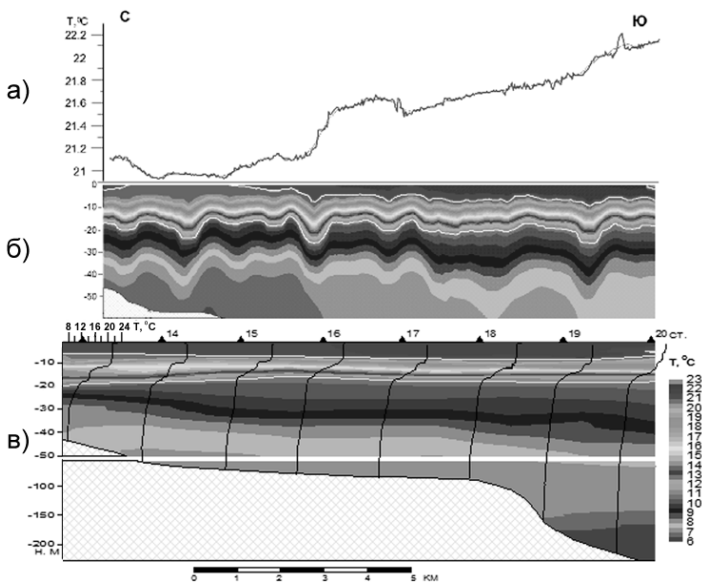


Рис. 1. Пространственная изменчивость температуры вдоль профиля у мыса Песчаный в Каспийском море. а) Изменение приповерхностной температуры вдоль профиля, б) смоделированный (рассчитанный) разрез поля температуры, в) интерполяционный разрез поля температуры по данным зондирования

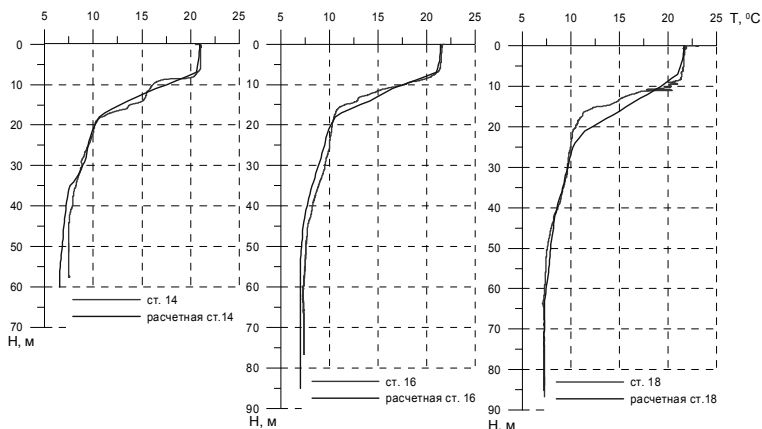


Рис. 2. Профили температуры по станциям наблюдений и полученные по рассчитанному разрезу

По рассчитанному разрезу, приведенному на рис. 2б, были получены профили температуры, соответствующие расположению станций инструментальных наблюдений (СТД-зондирований) № 14, 16 и 18. Сопоставление профилей температуры инструментальных наблюдений и полученных по рассчитанному разрезу показаны на рис. 2.

Полученные результаты показывают возможность применения метода марковского прогнозирования распределения температурного поля в водной толще по данным поверхностной температуры. Дальнейшее направление развития метода для решения гидрофизических задач – построение трехмерных моделей распределения температуры в водной среде по данным ИСЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черников А.Г., Матушкин М.Б., Либина Н.В. Изучение внутреннего строения Земли на основе марковского анализа гипсометрии ее поверхности // Разведка и охрана недр. 2001. № 2. С. 57–59.
2. Черников А.Г., Либина Н.В. Использование марковской гипсометрии при геологических исследованиях в океанологии // Океанология, 2011. Том 51. № 3. С.561–565.
3. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна «РИФТ» // Океанология, 2012. Том 52. №1. С.150–156.

НОВАЯ МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАКУУМНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

Мошаров С.А.^{1,2}, Гонтарев С.В.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский пр-т, 36, 8(499) 124-63-88, mosharov@ocean.ru*

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э.
Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская, 5*

New mobile plant for continuous vacuum filtration based on the waterjet pump with closed cycle for exhaustion is considered in the paper. This device can be used to filter the large volume of water uninterruptedly with capability of exhaustion in both liquid and air.

При проведении экологических исследований и мониторинга природной водной среды очень часто необходимо выполнять фильтрацию больших объемов воды для выделения на фильтрах взвешенных компонентов с последующим анализом состава минеральной и органической взвеси. Применяемые в настоящее время установки для вакуумной фильтрации имеют ряд существенных ограничений. Главный недостаток существующих установок вакуумной фильтрации связан с использованием герметичного ресивера жесткой конструкции. При интенсивной фильтрации подобный ресивер должен иметь большой объем, что ограничивает возможности транспортировки устройства для фильтрации при работе в полевых условиях. К недостаткам устройств вакуумной фильтрации данного типа относится также возможность попадания накопленной в ресивере жидкости в вакуумный насос при подъеме ее уровня до выводного патрубка, что может привести к выходу насоса из строя. Необходимость защиты вакуумного насоса от попадания фильтрата требует постоянного контроля наполнения ресивера при большом объеме фильтрации. При заполнении ресивера процесс фильтрации прерывается для удаления фильтрата.

В докладе представлено описание разработанной авторами новой мобильной установки непрерывной вакуумной фильтрации на основе водоструйного насоса замкнутого цикла для создания вакуума. Целью

разработки такого оборудования было обеспечение непрерывной фильтрации больших объемов воды, исключение выхода из строя устройства в результате попадания фильтрата в насос, возможность создания вакуума как в жидкой, так и в воздушной среде, и уменьшение габаритов устройства за счет удаления ресивера из устройства. Поставленная цель была достигнута созданием вакуума последовательно соединенными центробежным и водоструйным насосами.

Конструкция установки показана на рисунке. Установка состоит из бака с водой, в который погружен центробежный насос. Вода из центробежного насоса поступает в водоструйный насос, соединенный с устройствами фильтрации с помощью трубок. Бак имеет слив для удаления избытка отфильтрованной жидкости. К вакуумной магистрали водоструйного насоса подключаются фильтродержатели с установленными фильтрами. Фильтродержатели не имеют емкостей для залива пробы и слива фильтрата.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Центробежный насос приводится в действие электродвигателем. Вода под давлением подается из центробежного насоса в водоструйный насос. Слив воды из водоструйного насоса осуществляется в бак. Фильтрация пробы выполняется фильтром необходимой пористости, помещенным в фильтродержатель. Вакуум в нижней камере фильтрующего устройства создается за счет соединения нижней камеры фильтродержателя с вакуумным выводом водоструйного насоса. Профильтрованная вода из нижней камеры откачивается через водоструйный насос в бак. Избыток жидкости из бака сливается через перелив. Забор пробы осуществляется из любой емкости, в которой доставлена проба, через гибкую трубку с пробозаборником, позволяющим забирать пробу из донной части емкости. Пробозаборник представляет собой диск с выполненными на нижней поверхности канавками и отводом для подсоединения гибкой трубкой. Наличие пробозаборника на конце трубки гарантирует полный отбор пробы из емкости.

Данная конструкция фильтрующего устройства не требует прерывания фильтрации для удаления фильтрата из ресивера, исключает повреждение вакуумного насоса фильтратом. Отсутствие ресивера и упрощенная конструкция фильтродержателя позволяет выполнить установку компактной и легкой. Установка не требует контроля за переполнением фильтратом и исключает излишние операции при переливе пробы из транспортировочной емкости в фильтровальные установки.

К достоинствам предлагаемого устройства можно отнести:

1) возможность откачивания как воздуха, так и жидкости. Работа устройства становится независимой от попадания жидкости в насос. Отпадает необходимость постоянного контроля за установкой.

2) отсутствует герметичный ресивер большой емкости. Слив избытка отфильтрованной жидкости происходит автоматически в процессе работы, что обеспечивает непрерывность фильтрации больших объемов воды.

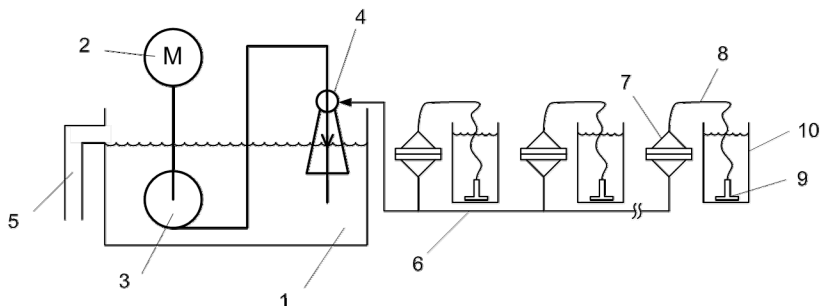


Рисунок. Принципиальная схема установки для непрерывной вакуумной фильтрации: 1 – бак, 2 – электродвигатель, 3 – центробежный насос, 4 – водоструйный насос, 5 – перелив, 6 – вакуумная магистраль, 7 – фильтрдержатель, 8 – гибкая трубка, 9 – пробозаборник, 10 – емкость с пробой.

Таким образом, введение в устройство соединенных последовательно центробежного и водоструйного насосов позволяет обеспечить непрерывную фильтрацию больших объемов воды, делает устройство нечувствительным к попаданию фильтрата в насос, исключает из схемы ресивер большой емкости.

На разработанное устройство непрерывной вакуумной фильтрации подана заявка на выдачу патента на изобретение.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДОННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ АНАПЫ

Ковачев С.А.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
kovachev@ocean.ru*

The article describes the main results of bottom seismological observations in the Black Sea for Blue Stream project. Numerous microearthquakes have been recorded in the area of Anapa by OBS. The spatial distribution of earthquake foci in the area was obtained.

В апреле–мае 2011 г. на шельфе Черного моря в районе Анапы был выполнен донный сейсмологический эксперимент с использованием 5 донных сейсмографов ИО РАН. Продолжительность наблюдений составила 1 месяц. Работы выполнялись с целью уточнения сейсмической опасности для подводного газопровода «Южный поток». В результате эксперимента были получены многочисленные записи местных и удаленных землетрясений, построена карта эпицентров землетрясений (рис. 1) и разрез с проекцией очагов на вертикальную плоскость вдоль линии, перпендикулярной берегу Черного моря (рис. 2).

Эпицентры микроземлетрясений показаны кружками красного цвета, размер которых определяет магнитуду землетрясения. Зеленые кружки – эпицентры землетрясений из Специализированного каталога землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1992 г. [1]. Синие кружки – эпицентры землетрясений из каталога ГС РАН за период с 1992 по 2011 г. Зеленые линии – сейсмические линеаменты из работы [2].

Анализ полученных данных, представленных на рис. 1 и 2, позволяет сделать несколько выводов о сейсмотектонике исследуемого района:

1. Линеамент L0016, определяющий основную сейсмическую опасность морского участка газопровода «Южный поток» в районе Анапы необходимо сместить на 7 км к северо-востоку в место сгущения очагов землетрясений (см. рис. 2).

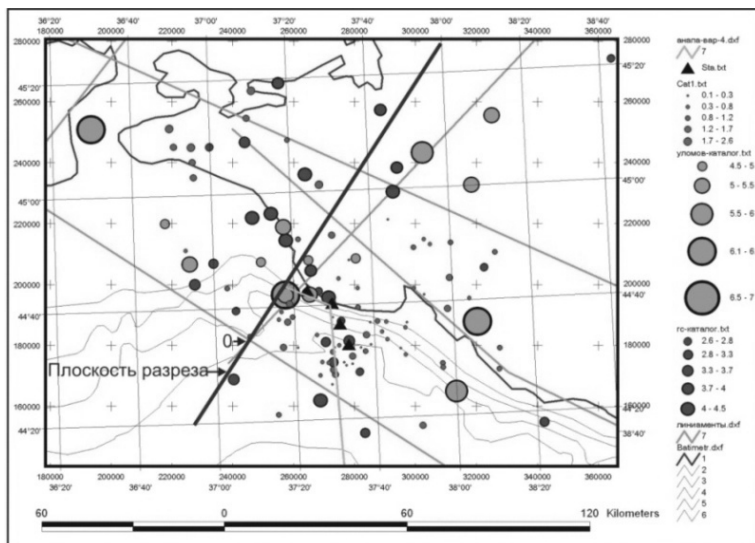


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений в районе Анапы

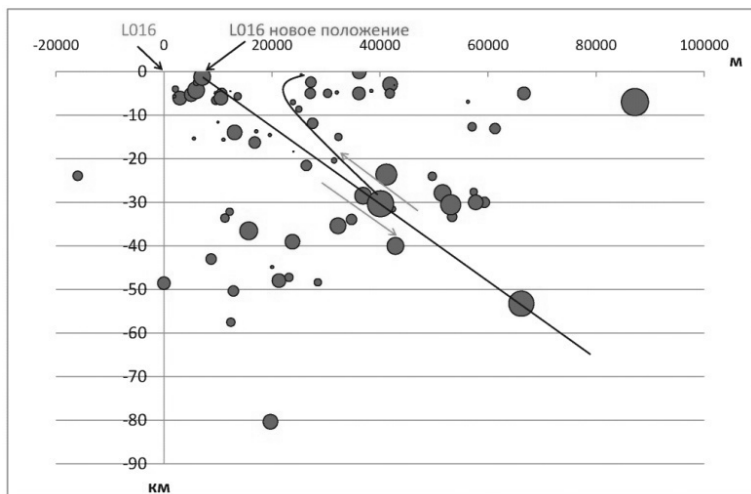


Рис. 2. Глубинный разрез с проекциями очагов микроземлетрясений на вертикальную плоскость с ориентацией вдоль синей прямой, показанной на рис. 1

2. Положение очагов на разрезе (рис. 2) позволяет предположить наличие процесса псевдосубдукции (погружение черноморской литосферы под структуры Западного Кавказа), что может определять доминирующий механизм очага сильнейших землетрясений района как взброс.

Эти заключения существенным образом меняют представления о сеймотектонике района, положенные в основу разработки карты Общего сейсмического районирования ОСР-97 [2] для данного региона РФ, и должны быть учтены при уточнении исходной сейсмичности и расчетах параметров сейсмических воздействий на проектируемый газопровод.

Определение локальных магнитуд микроземлетрясений позволило построить график повторяемости для района Анапы (рис. 3, соотношение Гутенберга-Рихтера, показывающая зависимость между десятичным логарифмом числа землетрясений определенного диапазона магнитуд ($\lg N$) от средней магнитуды для этого диапазона M_s).

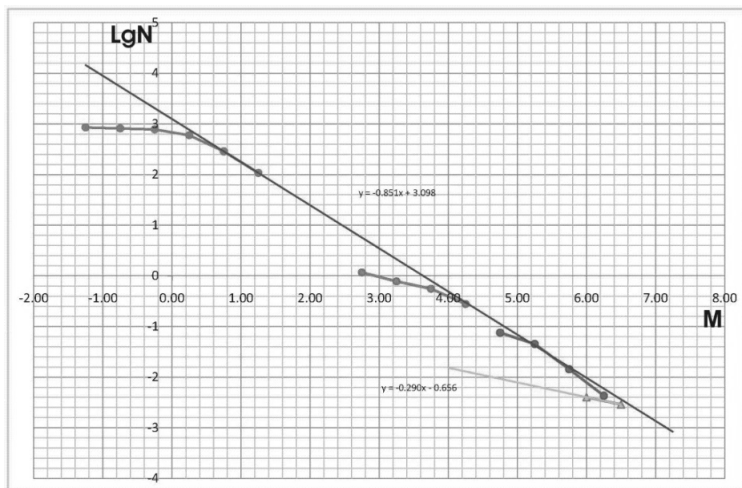


Рис. 3. График повторяемости землетрясений для района Анапы

График повторяемости, построен в широком магнитудном диапазоне от -1 до 6.5 . При нормальном сейсмическом режиме в районе исследования, не осложненном процессом подготовки сильного землетрясения, график Гутенберга-Рихтера должен быть близок к прямой линии, его загибы в области малых магнитуд, как правило, объясняются недостатками сейсмометрической сети, которая не может представительно (т.е.

без пропусков) регистрировать более слабые землетрясения. Параметры графика повторяемости, тангенс угла наклона и постоянная, являются важнейшими характеристиками сейсмического режима, которые необходимо учитывать при вероятностном анализе сейсмической опасности (ВАСО) при расчете сейсмических воздействий на сооружение и их повторяемости.

График повторяемости на рис. 3 построен по трем различным наборам данных (фактически это три разных графика повторяемости): каталог микроземлетрясений ИО РАН, полученный за месячный период наблюдений с помощью донных сейсмографов на Анапском полигоне (синие кружки на рис. 3); каталог землетрясений геофизической службы РАН за период наблюдений с 1992 по 2011 гг. (зеленые кружки на рис. 3) и Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен по 1995 г. (красные кружки на том же рисунке).

График повторяемости строился для квадрата: $44.3-45.3^\circ$ по северной широте и $36.3-38.3^\circ$ по восточной долготы.

Из рис. 3 видно, что все данные за исключением непредставительных ложатся на прямую, параметры которой описывают сейсмический режим в районе Анапы. Его характеристики существенным образом отличаются от использованных для построения карты ОСП-97. Таким образом, расчет сейсмических воздействий для района Анапы необходимо будет пересмотреть с учетом новых данных, полученных в результате донных сейсмологических наблюдений.

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН №3 «Мировой океан: многофазность, многомасштабность, многокомпонентность» и при поддержке Российского Научного Фонда (Грант № 14-50-00095).

ЛИТЕРАТУРА

1. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1990 г. (под ред. Н.В. Кондорской и В.И. Уломова): URL – [http://www.ssgis.ru/system of data bases](http://www.ssgis.ru/system_of_data_bases).

2. *ОСП-97* (1999): Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСП-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. Авт. В.И. Уломов, Л.С. Шумилина, М., 1999, 57 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ БУКСИРУЕМЫХ, ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ И АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ РАЗРАБОТКИ ООО «ЭКРАН»

Шавырин И.А., Трусилов В.Т.

*Научно-производственная фирма «Экран»,
Россия, Московская обл. г. Жуковский, Театральная ул. Д. 5,
тел/факс +7(495)790-71-78, E-mail: support@hidrosnars.ru*

1. Общие требования к гидроакустическим средствам для подводных аппаратов

Рассматриваются особенности эксплуатации гидроакустических средств на подводных аппаратах и специфические требования к акустическим средствам для интеграции в бортовую аппаратуру буксируемых, телеуправляемых и автономных ПА.

2. Краткий обзор отечественных гидроакустических средств поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов

Приведен обзор отечественных гидроакустических средств поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов (буксируемые ГБО, ГБО для АНПА и ТНПА, МЛЭ для АНПА и ТНПА, ГСО и 2-D, 3-D гидролокаторы, альтиметры и датчики измерения скорости звука).

3. Гидроакустические средства поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов, разработанные Научно-производственной фирмой «Экран».

Приведен обзор гидроакустические средств поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов, разработанных Научно-производственной фирмой «Экран»:

- буксируемые ГБО;
- ГБО для АНПА и ТНПА в вариантах моноблок и установочный комплект;
- альтиметры для АНПА и ТНПА в вариантах моноблок и установочный комплект;
- датчики измерения скорости звука.

4. Общие проблемы развития гидроакустических средства поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов и пути их решения.

Рассматриваются общие проблемы развития гидроакустических средства поиска, обнаружения и обеспечения навигационной безопасности для подводных аппаратов и пути их решения:

- унификация форматов выходных данных гидроакустических средств различных отечественных производителей;
- унификация протоколов обмена информацией СУ и гидроакустическими средствами различных отечественных производителей;
- необходимость внедрения разработанных проектов отечественных стандартов морской подводной техники;
- разработка отечественного пакета гидрографического программного обеспечения (пакет НУРАСК) позволяющего выполнять: планирование, сбор данных, использование различных поправок (за уровень воды, за скорость звука, за проседание судна и др.) для корректировки глубин, удаления выбросов, подготовки планшетов, экспорта данных в САД системы, расчет объемов, создание контуров и мозаик бокового сканирования, а также создания и обновления электронных карт.

УДК 550.34

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕФТЕГАЗОВЫХ ВЫСАЧИВАНИЙ (ГРИФОНОВ) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ковачев С.А.¹, Крылов А.А.¹

*¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
kovachev@ocean.ru*

The article attempts to explain the nature of the oil seeps in the Northern Caspian and shows their relationship to strong earthquakes.

В результате проводившейся в 2011-2013 гг. радиолокационной спутниковой съемки акватории Северного Каспия на поверхности воды были обнаружены слики, которые компанией СканЭкс проинтерпретированы как вероятные естественные выходы нефти (грифоны или сипы) из верхнего яруса осадочных пород [1]. В 2011 г. грифоны появились 15 апреля и продолжали появляться вплоть до 30 мая. В 2012 г. грифоны появились 26 апреля и продолжали появляться вплоть до 13 июня. В 2013 г. они были обнаружены 13 марта и продолжали появляться до 6 июня.

Чтобы выяснить природу появления грифонов в северной части Каспийского моря, было выполнено сопоставление моментов их появления с региональной сейсмической активностью рис. 1. Для этого из каталога Геофизической службы РАН были выбраны землетрясения, которые произошли в радиусе 1500 км от исследуемого района за период времени с 24 января 2011 г. по 31 мая 2013 г. Амплитуда сейсмических воздействий от этих землетрясений на акваторию Северного Каспия рассчитывалась по формуле Ф.Ф. Аптикаева: $\lg A = 0.63M - 1.92 \lg \Delta + 1.76$, где A – ускорение сейсмических сотрясений ($\text{см}/\text{с}^2$), Δ – эпицентрального расстояние в км.

Полученные данные по ускорению сейсмических колебаний были сопоставлены с моментами появления грифонов на Северном Каспии (рис. 1). Из рис. 1 видно, что сейсмические воздействия до 11 апреля 2011 г. на акваторию Северного Каспия были минимальны. Грифоны появились после их скачка. В конце мая они исчезли, хотя амплитуда сейсмических воздействий колебалась в больших пределах до ноября 2011 г. Затем наблюдалось «сейсмическое затишье» до 7 мая 2012 г., затем опять наблюдался рост сейсмических воздействий. Сейсмическое затишье наступило 25 декабря 2012 г. и продолжалось до 27 марта 2013 г.

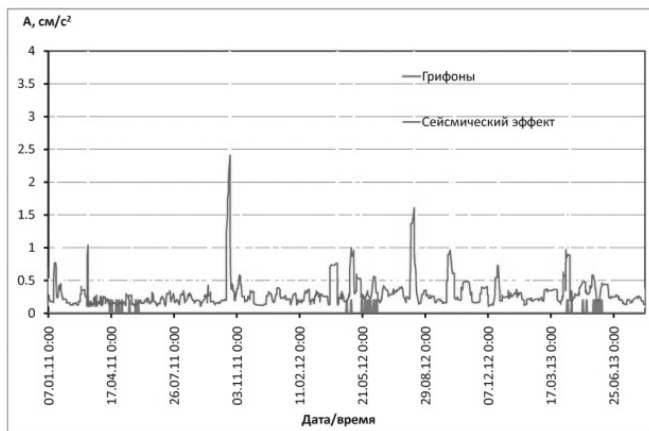


Рис. 1. Сопоставление моментов появления грифонов на Северном Каспии с сейсмической активностью в 2011–2013 гг.

Из рис. 1 видно, что моменты появления грифонов предвращаются усилением региональной сейсмической активности.

Поэтому была предложена следующая модель возникновения и исчезновения грифонов:

Стадия 1: Каналы высачивания нефти на поверхность находятся в закупоренном состоянии, и в периоды сейсмического затишья грифоны не наблюдаются.

Стадия 2: При интенсивном сейсмическом воздействии (встряске) происходит дегазация нефти, и пробки из битумов, образованные при закупорке, либо не образуются, либо выбиваются газом. (Эффект шампанского). Грифоны продолжают появляться.

Стадия 3: Сейсмические воздействия большие, но грифонов нет. Газ вышел, нефть перестает выдавливаться из осадков.

Стадия 4: Низкие сейсмические воздействия. Происходит образование пробок из тяжелых фракций нефти (закупорка).

Стадия 5: Рост сейсмических воздействий, появление грифонов.

Все эти стадии можно наблюдать на рис. 1.

По мере появления новых данных об обнаружении грифоновых пятен на поверхности Каспийского моря (данные СканЭкс, 2013, 2014, 2015, в 2016г. грифоны не обнаружены) было продолжено сопоставление моментов появления грифонов с ростом сейсмических воздействий от региональных землетрясений (рис. 2). Построенные графики показали, что предложенная ранее модель, устанавливающая связь моментов появления грифоновых пятен с сейсмическими воздействиями от региональных землетрясений не работает.

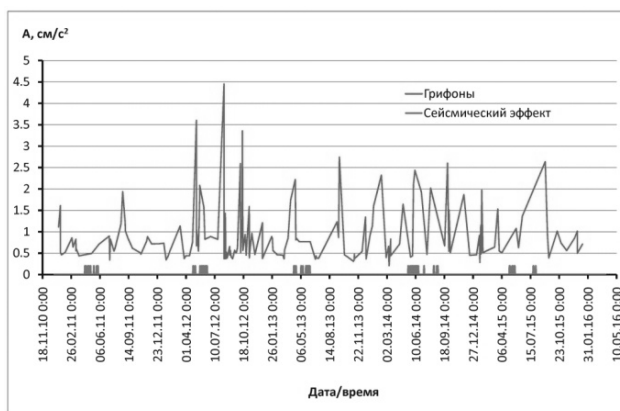


Рис. 2. Сопоставление моментов появления грифонов на Северном Каспии с сейсмической активностью 2011–2015 гг.

Моменты появления грифонов в 2014 и 2015 гг. не совпадают с моментами роста региональной сейсмической активности и не предваряются периодами сейсмического затишья.

Для попытки объяснения природы грифонов было выполнено сопоставление моментов их появления с временами возникновения сильнейших землетрясений на Земном шаре. Данные о землетрясениях с магнитудой $M \geq 7.5$ за период наблюдений с января 2011 г. по март 2016 г. были заимствованы с сайта Геологической службы США. Магнитуда землетрясения пересчитывалась в сейсмическую энергию с помощью формулы: $E = 10^{(1.5M_w + 11.8)}$, где E – энергия, высвобождаемая при землетрясении в Дж, M_w – моментная магнитуда по Канамори.

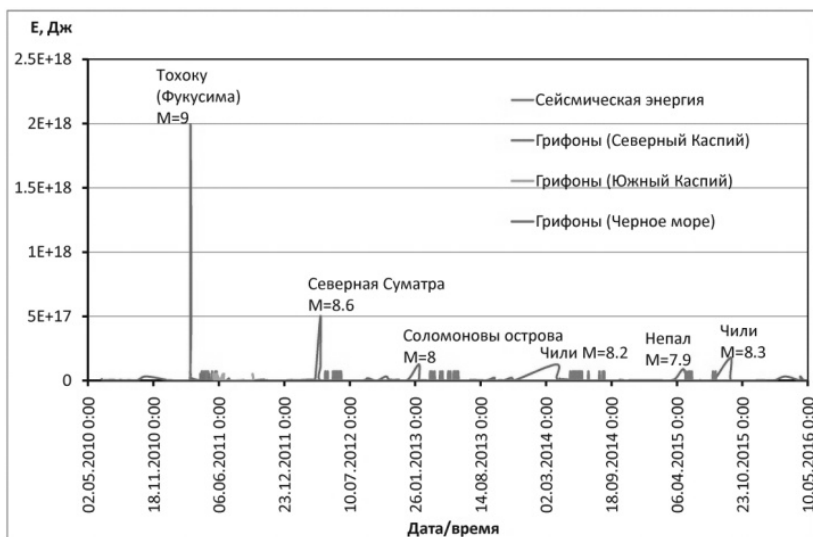


Рис. 3 Сопоставление моментов появления грифонов в акваториях Каспийского и Черного морей с энергией сильнейших землетрясений, происходивших на Земном шаре в 2011–2015 гг.

Результаты сопоставления приводятся на рис. 3. Из рисунка видно, что моменты появления грифонов на Северном Каспии предваряются сильнейшими землетрясениями, происходящими на Земном шаре: в 2011 г. грифоны наблюдались после катастрофического землетрясения Тохоку в Тихом океане ($M=9$); в 2012 г. перед появлением грифонов произошло сильнейшее землетрясение в Индийском океане в районе

Северной Суматры ($M=8.6$); в 2013, 2014 и 2015 гг. до появления грифонов произошли землетрясения у Соломоновых островов ($M=8$, Тихий океан), в Чили ($M=8.2$) и Непале ($M=7.9$) соответственно. На рис. 3 приведены также данные об активности грифонов в Южном Каспии [2] и на востоке Черного моря [3]. Видно, что моменты появления грифонов в этих районах также предварялись сильнейшими землетрясениями.

При сильнейших землетрясениях с $M=7.5$ возникают интенсивные поверхностные волны и собственные колебания Земли, которые могут длиться несколько часов или даже суток, вызывая деформации нефтегазовых резервуаров, раскупорку каналов и высачивание нефти и газа из осадочного чехла.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Грант № 14-50-00095) и ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Голубов Б.Н., Иванов А.Ю.** Активизация выбросов нефти из недр Северного и Среднего Каспия в апреле-июне 2012 г. по спутниковым и геолого-геофизическим данным // Исследования Земли из космоса. 2014. № 2. С. 6781.
2. **Евтушенко Н. В., Иванов А. Ю.** Нефтепроявления в юго-восточной части Черного моря по данным космической радиолокации // Исследования Земли из космоса. 2012. № 3. С. 24–30.
3. **Иванов А. Ю., Голубов Б. Н., Терлеева Н. В.** Сравнительный анализ распределения нефтепроявлений в юго-западной части Каспийского моря по данным космической радиолокации с оценкой нефтегазности // Исследования Земли из космоса. 2015. № 6, С.47–61.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ДОННЫХ СЕЙСМОСТАНЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Левченко Д.Г.¹, Лобковский Л.И.¹, Ильинский Д.А.²,
Рогинский К.А.¹**

*¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117995, Москва,
Нахимовский пр., 36, т: (499) 124-0197, ²ООО «Геонод»
levch35@mail.ru*

The results of development and testing of marine bottom cable seismic station, designed for operation in the seismic networks, presumably in areas of offshore oil and gas fields in the Arctic. In connection with a specific set of tasks station has a sufficiently wide frequency range of recording seismic signals (from 100 sec to 500 Hz). A special feature is the use of seismic molecular-kinetic (electrochemical) geophones for the entire frequency range. The stations passed laboratory and field testing and ready for trial operation. Cable bottom seismic station was designed by the P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, EDB Oceanology Engineering RAS and LLC “Geonod”.

При освоении морских нефтегазовых месторождений приходится решать ряд сейсмологических задач, связанных как с естественной и наведенной сейсмической активностью, так и с контролем над результатами промышленной разработки. Обычно эти задачи решаются с помощью отдельных приборных комплексов: широкополосных донных сейсмографов (диапазон частот 0,01–20 Гц) и сейсморазведочной аппаратуры с искусственными источниками сигналов (диапазон 100–500 Гц). Следует отметить, что наведенная сейсмичность, вызванная деформацией массива при извлечении большого количества углеводородов, занимает широкий частотный диапазон от сотых долей герца до сотен герц. Необходимо, также, проводить экологический контроль уровня техногенных шумов в подобном диапазоне [1,2,3].

В связи с изложенным, для уменьшения затрат на постановку донных станций и снижение эксплуатационных расходов в ИОРАН была сделана попытка разработки комплексной донной сейсмостанции, которая позволяла бы решать большинство сейсмологических задач, связанных с потребностями морских добывающих предприятий. В качестве зондирую-

щих сигналов при этом могут использоваться как естественные, так и техногенные шумы или специальные источники. В разработке станции принимали участие ОКБ океанической техники РАН и ООО «Геонод».

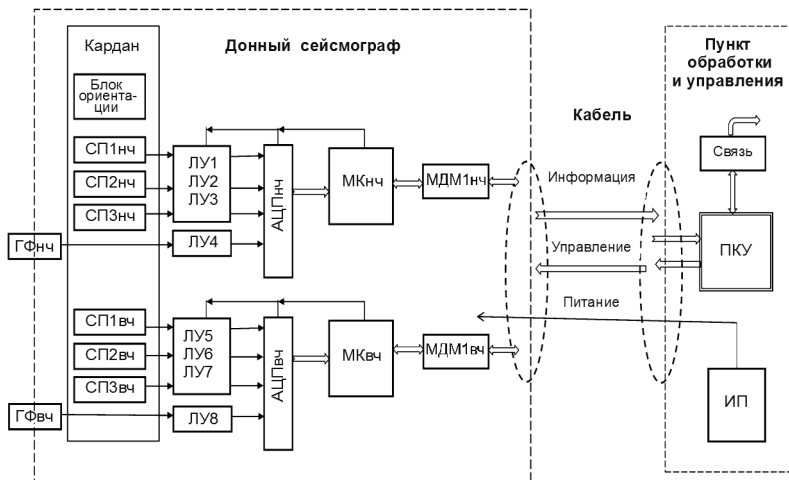


Рис. 1. Структурная схема кабельной донной сейсмостанции КДСС-1

Технические характеристики кабельной донной сейсмостанции

Число сейсмических каналов X, Y, Z	3 НЧ и 3 ВЧ
Число гидроакустических каналов	1 НЧ и 1 ВЧ
Частотный диапазон НЧ тракта	0.01–20 Гц
Частотный диапазон ВЧ тракта	1–500 Гц
Усиление аналогового сигнала (управляемое)	0–36 дБ (шаг 6 дБ)
Динамический диапазон (при усилении 0 дБ)	120 дБ
Разрядность АЦП	24 бит
Интервал дискретизации (управляемый)	0.5, 1, 2, 4 мс
Коэффициент нелинейных искажений регистратора	–120 дБ
Межканальное затухание	120 дБ
Источник питания донного модуля	9–20 В, 3 Вт
Максимальная рабочая глубина	500 м
Диапазон рабочих температур	–5°С – +50°С



Рис. 2. Внешний вид кабельной донной сейсмостанции КДСС-1 на постаменте в испытательном бункере ОКБ ОТ РАН

В стационарных сейсмических станциях обычно используются широкополосные сейсмоприемники маятникового типа, которые не выдерживают механических перегрузок и требуют точной юстировки по вертикали при постановке на дно, что существенно затрудняет их использование в донных сейсмографах. В связи с этим в донной станции использованы сейсмоприемники электрохимического типа (разработки МФТУ), которые не боятся ударов (до 30g) и сохраняют работоспособность при наклоне до 20 градусов [4,5].

В процессе разработки кабельной донной сейсмостанции были проведены лабораторные испытания отдельных узлов, затем стендовые испытания всей станции в сборе. Испытательный стенд расположен на территории ОКБ ОТ РАН (г. Москва, Люблино) в специальном подземном бункере на глубине около 4 м от поверхности.

Натурные морские испытания донной станции проводились на Черноморском полигоне Южного отделения ИО РАН (г. Геленджик, Голубая бухта) в конце августа – начале сентября 2014 г. Кабельная сейсмостанция находилась на дне Голубой бухты около 5 сут. Все восемь каналов регистрации работали нормально. За это время были записаны местные гидроакустические и сейсмические шумы и ряд местных землетрясений. На рис. 3 представлены фрагменты этих записей.

Основные особенности разработанной кабельной донной сейсмостанции:

- исключительно широкий частотный диапазон (0.01–500 Гц), что позволяет регистрировать как естественные сейсмические явления, так и техногенные, а также, проводить доразведку месторождения в процессе его разработки;

- применение молекулярно-кинетических сейсмоприемников, малочувствительных к ударам и отклонениям от вертикали;

- использование в донном и береговом компьютерах помехоустойчивой операционной системы “Линукс”;
- возможность использования для синхронизации навигационные системы систем ГЛОНАСС или GPS.

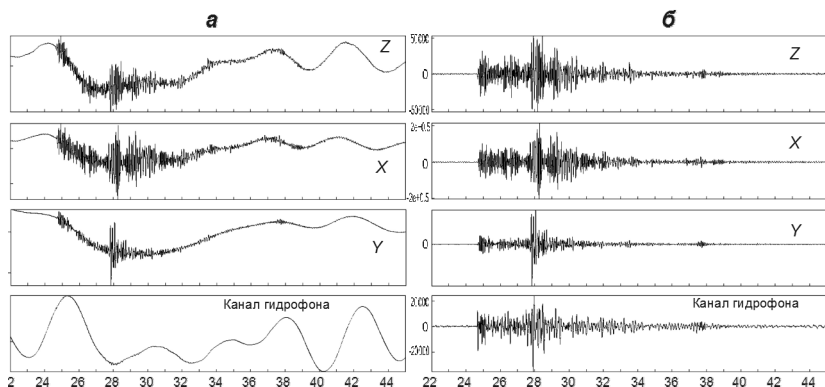


Рис. 3. Запись землетрясения по рис. 11 на низкочастотных каналах кабельной донной станции (время указано в секундах); *а* – записи без фильтрации; *б* – после низкочастотной фильтрации

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. 340 с.
2. Зубко Ю.Н., Левченко Д.Г., Леденев В.В., Парамонов А.А. Современные донные станции для сейсморазведки и сейсмологического мониторинга // Научное приборостроение. 2003. Т. 13, № 4. С.70–82.
3. Леденев В.В., Левченко Д.Г., Носов А.В. Анализ методов построения автоматических многоцелевых донных станций// Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5, № 2. С.1–8. Эл. публ.: http://www.ngtp.ru/rub/12/25_2010.pdf
4. Romanovich, B., Stakes D., Dolenc D. Neuhauser, D., McGill, P., Uhrhammer, R., Ramirez, T. The Monterey Bay broadband ocean bottom seismic observatory // Ann. Geophys. 2006. V. 49. N 2/3. P.607–621.
5. Левченко Д.Г., Кузин И.П., Сафонов М.В., Сычиков В.Н., Уломов И.В., Холопов Б.В. Опыт регистрации сейсмических сигналов с использованием широкополосных электрохимических сейсмоприемников. Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. № 4. с.5–25.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО СЛОЯ В ВОСТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ВПАДИНЫ СКАН (МОРЕ СКОТИЯ)

Шрейдер Ал. А.¹, Шрейдер А. А.², Сажнева А. Э.², Галиндо-Зальдивар Х.³, Руано П.³, Мальдонадо А.⁴, Маргос-Мартин Я.⁴, Лобо Ф.⁴, Бохойо Ф.⁴

¹ *Общество с ограниченной ответственностью “Научно-исследовательский институт экономики и организации управления в газовой промышленности”, Москва, Россия*
e-mail: aschr@ocean.ru

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*
e-mail: alexe@ocean.ru

³ *Гранадский университет, Гранада, Испания*

⁴ *Андалузский Институт наук о Земле, Гранада, Испания*

The structure of the near-surface sediments in the eastern part of the Scan Basin (Scotia Sea) was studied. The data obtained during the expeditions on board of the Spanish research vessel "Gesperidas", equipped with a system TOPAS PS 18/40 with a resolution of about 10 cm were used.

За последнее десятилетие большое внимание исследователей привлекает впадина Скан (Море Скотия), которая является одним из важных геоморфологических элементов юга моря, различного рода геологическим особенностям которой, в т.ч. структуре осадков посвящен ряд работ последнего десятилетия [16, 18, 22 и др.]. Впадина Скан расположена на Юге моря Скотия северо-восточнее банки Брюс, имеет треугольную форму и дно ее сложено океанической корой [18]. Формирование впадины Скан играло главную роль в фрагментировании континентального массива, объединявшего банки Брюс и Дискавери [16, 18]. С помощью геофизических методов [16, 18, 19, 21, 22 и др.] удалось восстановить основные параметры осадочной толщи, включая морфологию акустического фундамента. Но самая верхняя часть разреза, относящаяся к позднечетвертичной истории седиментации, не отражена в материалах литературных источников из-за отсутствия данных. В работе использованы данные, полученные в экспедициях испанского научно-исследовательского судна «Гесперидас», оснащенного специализированной параметрической системой TOPAS PS 18/40 с разрешением

вертикальной структуры осадков порядка 10 см, разработанной фирмой Kongsberg (Норвегия). Применение этого комплекса позволило изучить строение приповерхностных осадков в восточной части впадины Скан и впервые по исследуемому профилю (рис. 1) выявить их структуру более детально (рис. 2). Ряд методических вопросов, связанных с подобными исследованиями, был изложен в работах [4–8]. Детальный анализ материалов, полученных вдоль фрагментов профиля наблюдения *аг* (рис. 1) во впадине Скан с помощью геоакустической системы TOPAS PS 18/40, позволил непосредственно ниже дна зафиксировать те же три приповерхностных слоя осадков, что и в работе [11] (рис. 2). Поверхность дна вдоль профиля наблюдений лежит на глубинах 2812–2906 м. Средняя мощность первого слоя 3.2 м для первого фрагмента *аб*, 3.8 м для второго фрагмента *вг*. Средняя мощность второго слоя составляет 2.9 м для первого фрагмента *аб*, 2.2 м для второго фрагмента *вг*. Средняя мощность третьего слоя составляет 1.8 м для первого фрагмента *аб*, 1.6 м для второго фрагмента *вг*. Приведенный в работе [19] седиментационный слой 1 включает все три приповерхностных слоя, зафиксированных по разрезу *аг* (рис. 1). Подошва слоя 1, выделенного в работе [19], соответствует разделу между позднеплиоценовым и раннеплиоценовым временем, оцениваемым в этой работе в 3.8 млн лет. В то же время согласно наиболее современной версии геохронологической шкалы [15], развивающей работу [9], возраст этого раздела составляет 3.6 млн. лет. Если в соответствии с работой [19] принять, что осадконакопление в пределах слоя 1 происходило со средней скоростью 2.78 см/тыс. лет, то, с учетом указанной выше корректировки возраста границы между позднеплиоценовым и раннеплиоценовым временем, среднее время отложения вдоль анализируемого профиля *аг* первого слоя можно оценить в 133 тыс. лет, второго слоя – в 84 тыс. лет и третьего слоя – в 64 тыс. лет. Соответственно возраст подошвы первого слоя составляет в среднем 133 тыс. лет, возраст подошвы второго слоя составляет в среднем 217 тыс. лет, а возраст подошвы третьего слоя составляет 281 тыс. лет. Анализ возрастов границ, разъединяющих выделенные осадочные слои, показывает, что возраст границы подошвы второго слоя совпадает с теплым (стадия 7) временем, начало которого датируется как 191 тыс. лет [17, 25]. Возраст границы подошвы третьего слоя близок к холодному (стадия 8) времени, начало которого датируется как 243 тыс. лет [17, 25]. По акустическим характеристикам, и учитывая данные [2, 3, 12, 19, 21, 26, 27, 28], нельзя исключить вероятности, что осадки могут быть представлены гемипелагическими терригенными алевритово-пелитовыми илами с прослоями турбидитов, а также продуктами ледового разноса.

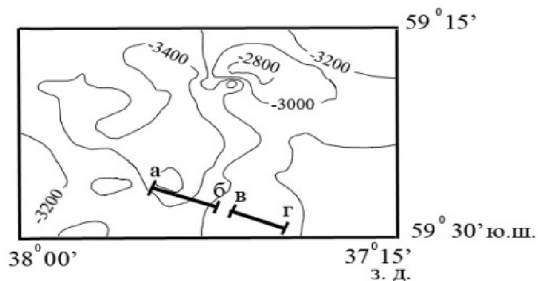


Рис. 1. Район исследований во впадине Скан. Изобаты в метрах. Показано положение анализируемого профиля *аг*

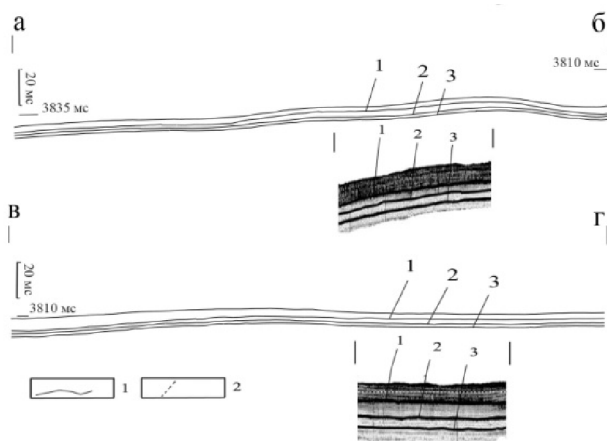


Рис. 2. Первые сейсмоакустические данные по участкам *аб*, *вг* профиля во впадине Скан. 1 – подошвы выделенных слоев 1, 2 и 3; 2 – обнаруженные нарушения слоистости осадков

Процесс получения информации с помощью высокоразрешающей системы TOPAS PS 18/40 служит для формируемого на базе Андалузского Института наук о Земле (Гранада, Испания) банка такого рода данных по морю Скотия и находится в самом начале становления.

Методические аспекты настоящего исследования прорабатывались в рамках Государственного задания проект № 0149-2014-0030, а результативная часть работы выполнена при поддержке Российского фонда

фундаментальных исследований по проекту № 15-05-00444 и проекту № 14-05-00015.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дмитренко О.Б., Лукашина Н.П., Оськина Н.С.** Верхне-четвертичная биостратиграфия и условия образования донных осадков колонки АСВ-17-1447 Юго-Западной Атлантики по микрофоссилиям // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 270–281.

2. **Левитан М.А., Рощина И.А., Толмачева А.В.** Геохимические особенности отложений континентального склона моря Уэдделла и их палеоокеанологическая интерпретация // *Литология и полезные ископаемые*. 2008. № 2. С. 128–142.

3. **Левитан М.А., Штайн Р.** История скоростей осадконакопления в ледовой зоне седиментации за последние 130 тыс. лет // *Литология и полезные ископаемые*. 2008. № 1. С. 74–86.

4. **Сажнева А.Э.** Методика формирования 3D-изображений дна водоемов по данным интерферометрического гидролокатора бокового обзора // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 4. С. 622–624.

5. **Сажнева А. Э.** Применение стереограмм для визуализации форм рельефа дна // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 408–411.

6. **Сажнева А.Э.** Технологии выявления скрытой информации изображений (на основе гидролокационных исследований). М.: Научный мир, 2013. 86 с.

7. **Сажнева А. Э.** Использование структурных особенностей донного рельефа при выявлении опасных для инженерных сооружений участков морского дна // *Геориск*. 2015. № 2. С. 38–40.

8. **Сычев В.А., Сажнева А.Э.** Акустические стереоизображения поверхности дна // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 5. С. 795–798.

9. **Шрейдер А.А.** Магнетизм океанической коры и линейные палеомагнитные аномалии // *Физика Земли*. 1992. № 6. С. 59 – 70.

10. **Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо–Зальдивар Х.,** и др. Строеие коры пролива Брансфилд // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 1. С. 126–138.

11. **Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Сажнева А.Э., Галиндо-Зальдивар Х., Руано П., Мальдонадо А., Маргос-Мартин Я., Лобо Ф.** Позднечетвертичная седиментация во впадине Скан (море Скотия) // *Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах*. М.: ООО «ПРИНТ ПРО», 2016. С. 197-200.

12. **Diekmann В., Futterer D.K., Grobe H. et al.** Terrigenous Sediment Supply in the Polar to Temperate South Atlantic: Land-Ocean Links of Envi-

ronmental Changes during the Late Quaternary // The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of Material Budget and current systems. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2004. P. 375–399.

13. **Galindo-Zaldivar J., Martos Y., Schreider A. et al.** Variability of oceanic spreading in Scan basin from magnetic anomalies standpoint (Southwestern Scotia Sea, Antarctica) // XII ISAES Symp. Proc. Goa. 2015. P. 272.

14. **Galindo-Zaldivar J., Puga E., Bohoyo F. et al.** Magmatism, structure and age of Dove Basin (Antarctica): A key to understanding South Scotia Arc development // *Glob. Planet. Change*. 2014. V.122. P. 50 – 69.

15. **Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G.** The Geologic Timescale 2012 // Elsevier, 2012 1139 p.

16. **Hernandez-Molina F. J., Bohoyo F., Navaira Garabato A. et al.** The Scan Basin evolution: Oceanographic consequences of the deep connection between the Weddell and Scotia Seas (Antarctica) // U.S. Geological Survey and The National Academies. 2007. P1047-1 – P1047-5.

17. **Lisiecki L. E., Raymo M. E.** A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic D18O records // *Paleoceanography*. 2005. V.20. PA1003. P. 1 – 17.

18. **Lobo F., Hernández-Molina F. J., Bohoyo F. et al.** Furrows in the southern Scan Basin, Antarctica: interplay between tectonic and oceanographic influences // *Geo-Mar Lett*. 2011. V. 31. P. 451 – 464.

19. **Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al.** Contourite deposits in the central Scotia Sea: the importance of the Antarctic Circumpolar Current and the Weddell Gyre flows // *Palaeogeography, Palaeoecology*. 2003. V. 198. P. 187 – 221.

20. **Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al.** Miocene to Recent contourite drifts development in northern Weddell Sea (Antarctica) // *Glob. Planet. Change*. 2005. V. 45. P. 99 – 129.

21. **Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al.** Ocean basins near the Scotia-Antarctic plate boundary: Influence of tectonics and paleoceanography on Cenozoic deposits // *Mar. Geoph. Res*. 2006. V. 27. P. 83–107.

22. **Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al.** A model of oceanic development by ridge jumping: Opening of the Scotia sea // *Glob. Planet. Change*. 2014. V.122. P. 152 – 173.

23. **Pistolato M., Quiaia T., Marinoni L. et al.** Grain Size, Mineralogy and Geochemistry in Late Quaternary Sediments from the Western Ross Sea outer Slope as Proxies for Climate Changes // *Antarctica: Contributions to global earth sciences*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2006. P. 423 – 432.

24. **Ruano P., Bohoyo F., Galindo – Zaldivar J. et al.** Mass transport processes in the southern Scotia Sea: evidence of paleoearthquakes // *Glob. Planet. Change*. 2014. V. 123. P. 374 – 391.

25. www.lorraine-lisiecki.com/LR04_MISboundaries.txt. 2016

26. **Weber M.** Late Quaternary sedimentation at the continental margin of the southeastern Weddell Sea // *Ber.Polarforsch.* 1992. №109. 165 p.

27. **Weber M. E., Bonani G., Fütterer K. D.** Sedimentation processes within channel-ridge systems, southeastern Weddell Sea, Antarctica // *Paleoceanography*. 1994. V. 9. №. 6. P. 1027 – 1048.

28. **Weber M.E., Kuhn G., Sprenk D. et al.** Dust transport from Patagonia to Antarctica – A new stratigraphic approach from the Scotia Sea and its implications for the last glacial cycle // *Quaternary Science Reviews*. 2012. V. 36. P. 177–188.

УДК 543.064

ПОЛИАРЕНЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 2015–2016 ГГ.

Халиков И.С.

*ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4 (484)3971884,
khalikov@rpatyphoon.ru*

The report gives the results of 2015-2016 measurements of benz(a)pyrene and ПАХ in bottom sediments of the Baikal Lake with the use of the HPLC method.

Озеро Байкал является уникальным природным объектом, который был включен в список природного наследия ЮНЕСКО. Правовое регулирование в области охраны оз. Байкал осуществляется федеральным законом Российской Федерации «Об охране озера Байкал», принятым в 1999 году.

Важной задачей комплексного мониторинга оз. Байкал, крупнейшего источника питьевой воды, является контроль содержания приоритетных загрязняющих веществ в донных отложениях (ДО) районов сильного антропогенного воздействия. Одним из таких районов является зона воздействия в южной части озера Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), функционировавшего без перерывов с 1966 по 2009

г., который получил широкую известность как крупнейший источник загрязнения Байкала.

Полиарены или полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) состоят из двух или более конденсированных ароматических колец и относятся к числу наиболее опасных веществ, загрязняющих водные объекты. Многие из них, например высокомолекулярные ПАУ (от 4 до 6 конденсированных колец) обладают выраженным канцерогенным и мутагенным действием, поэтому они должны находиться под постоянным контролем. Бенз(*a*)пирен (ПДК в почве 20 мкг/кг) подлежит обязательному контролю.

Донные отложения (ДО) являются депонирующей средой, отражающей в отличие от воды не текущее, а накопленное за длительный период загрязнение. Загрязнение донных отложений ПАУ может привести к ухудшению качества воды (через вторичное загрязнение), угнетению и гибели биоты и деградации экосистемы.

В данном сообщении представлены результаты определения (2015–2016 гг.) содержания ПАУ в донных отложениях прибрежной южной части оз. Байкал в районе сброса сточных вод БЦБК и фонового участка, расположенного в 20 км западнее полигона.

Материалом для исследований послужили 68 проб ДО, отобранных в 2015–2016 гг., с помощью дночерпателя «Океан» во время экспедиционных работ, проводимых ФГБУ «ГХИ» (г. Ростов-на-Дону) в летнее и осеннее время в пределах глубин отбора от 10 до 340 м. Картограмма отбора проб на полигоне в зоне влияния БЦБК приведена в работе [1]. Пробы ДО были отобраны с ненарушенного поверхностного слоя осадков (0–2 см), высушены при температуре не более 40 °С и измельчены в ступе до гомогенного порошка.

В работе для идентификации и количественного определения индивидуальных ПАУ использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием (детектор «RF-20A», хроматограф «LC-20 Prominence» (Shimadzu)), после предварительного выделения, концентрирования и очистки полиаренов из анализируемых проб в 2015 г. [2] и 2016 г. [3].

В пробах ДО в настоящей работе были количественно определены методом ВЭЖХ в порядке выхода на хроматограммах следующие индивидуальные ПАУ – аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(*a*)антрацен, хризен, бенз(*e*)пирен, бенз(*b*)флуорантен, бенз(*k*)флуорантен, бенз(*a*)пирен, дибенз(*a,h*)антрацен, бенз(*g,h,i*)-перилен, инден[1,2,3-*c,d*]пирен, антантрен и коронен. Профили содержания ПАУ в донных отложениях обследуемых районов были схожи.

Суммарная концентрация ПАУ в работе представлена как сумма этих полиаренов (от 3 до 7 конденсированных колец). Следует отметить, что содержание аценафтена практически во всех пробах было ниже предела определения метода (1 мкг/кг).

Анализ данных, полученных в 2015-2016 гг., позволил выявить некоторые особенности источников поступления и распространения полиаренов в донных отложениях южной части оз. Байкал. Результаты по среднему содержанию бенз(а)пирена и суммы ПАУ, а также интервалам их значений в донных отложениях обследуемых районов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Среднее содержание бенз(а)пирена и суммы ПАУ в донных отложениях полигона БЦБК и фонового участка, нг/г (2015–2016 гг.)

Концентрация ПАУ	Фоновая часть Южного Байкала, глубина больше 50 м		Полигон БЦБК, глубина до 50 м		Полигон БЦБК, глубина больше 50 м	
	2015 г. (кол-во проб (n)=5)	2016 г. (n=5)	2015 г. (n=7)	2016 (n=7)	2015 г. (n=22)	2016 г. (n=22)
Средняя концентрация бенз(а)пирена, интервал, нг/г	8,6 (2,2–11,8)	5,3 (3,8–6,6)	7,1 (1,1–18,6)	4,4 (0,2–12,5)	16,2 (5,7–27,4)	12,7 (3,7–24,9)
Средняя концентрация суммы 16 ПАУ, интервал, нг/г	156,6 (73,5–219,0)	98,5 (71,1–138,0)	103,0 (12,6–244,4)	63,0 (4,2–132,1)	255,8 (91,1–446,0)	209,8 (71,0–376,4)
Доля бенз(а)пирена от суммы ПАУ, %	5,5	5,4	6,9	7,0	6,3	6,1

Среднее содержание бенз(а)пирена, как и других ПАУ, было примерно в 2 раза выше в донных отложениях (глубина >50 м) полигона БЦБК по сравнению с более мелководными пробами этого района и фоновыми пробами Южного Байкала. Максимальные концентрации бенз(а)пирена и других ПАУ были обнаружены в пробах илов БЦБК (глубины > 50 м). Значения максимальных концентраций бенз(а)пирена в некоторых пробах превышают ПДК (20 мкг/кг) в почве для этого со-

единения. Согласно общей литогеохимической закономерности, с увеличением содержания пелитовой фракции с глубиной илестые осадки загрязнены ПАУ в большей степени, чем песчанистые отложения. Сложное геоморфологическое строение исследуемого полигона, наличие каньонов с крутыми склонами, способствуют сползанию осадочного материала на большие глубины озера.

Необходимо отметить, что содержание ПАУ в фоновых пробах южной части оз. Байкал, удаленных примерно на 20 км от полигона БЦБК, было выше по сравнению с районом Селенгинского мелководья и Северного Байкала в несколько раз. Это говорит о загрязненности ПАУ Южного Байкала по отношению к другим частям озера.

Концентрации ПАУ в донных отложениях обусловлены сорбционными свойствами осадков, наиболее высокое содержание отмечалось в мелкодисперсных ДО, обладающих большей активной площадью поверхности. Выявлены прямые корреляционные зависимости между содержанием ПАУ, органического углерода и гранулометрического состава. Органическое вещество играет значимую роль в аккумуляции в донных отложениях ПАУ.

В настоящее время в системе контроля уровня загрязненности водных объектов в нашей стране нет утвержденных ПДК как для бенз(*a*)пирена, так и других ПАУ в донных отложениях.

Оценка загрязненности приоритетными ПАУ донных отложений обследуемых районов Южного Байкала проводилась по шведской 5-уровневой классификации загрязненности донных отложений [4]. Согласно этой классификации, значительная часть проб ДО, отобранных в районе сброса сточных вод БЦБК (>50 м), относится к классу №3 с «умеренными» концентрациями ПАУ. К этому же 3-му классу относятся несколько проб донных отложений БЦБК (до 50 м) и фонового участка. Основной вклад в загрязнение ДО по данной системе вносят низкомолекулярные ПАУ – фенантрен, флуорантен, пирен, бенз(*a*)антрацен, хризен.

Изучение общих профилей и диагностических отношений индивидуальных ПАУ показало, что полиарены в донных отложениях района сброса сточных вод БЦБК имеют пиролитическое происхождение.

Для рассмотрения картины распределения ПАУ в этом районе в прошлые годы необходим отбор ДО и определение ПАУ по глубине осадков. Необходимо проведение регулярных наблюдений за состоянием и загрязнением экосистемы озера и оценка изменений ПАУ, происходящих в донных отложениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р 52.24.815-2014. Рекомендации. Организация и проведение отбора проб донных отложений и зообентоса в озере Байкал для определения в них содержания полициклических ароматических углеводородов и хлорорганических пестицидов.

2. **Халиков И.С.** Содержание ПАУ в донных отложениях озера Байкал в районе Селенгинского мелководья // Научный Альманах. – 2016. – N 1-2(15). – С. 447-451.

3. **Халиков И.С.** Экстракция полиаренов из почв с помощью метода QuEChERS // Вестник научных конференций.-2016.- №7-3(11).- С.130-131

4. ICES. 2003. Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment, 2003. ICES Cooperative Research Report, 263. Annex 3: Inventory of sediment quality criteria in ICES member countries. 227 pp.

УДК 551.466.62

ЗАВИСИМОСТЬ ЦУНАМИОПАСНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЯПОНСКОМ МОРЕ ОТ ГЛУБИНЫ ГИПОЦЕНТРА

Золотухин Д.Е.¹, Ивельская Т.Н.²

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
ул. Науки, 1Б, 693022, г. Южно-Сахалинск,
8(4242)791-517, nauka@imgg.ru*

² *Центр цунами, Сахалинское Управление по гидрометеорологии и
мониторингу окружающей среды,
ул. Западная, 78, 693000, г. Южно-Сахалинск, 8(4242)722-820,
TWC@Sakhalin.ru*

The paper presents the dependence of tsunamis underwater earthquake risk in the Sea of Japan on geographical coordinates and hypocenter depth, received with the use of numerical modeling.

Цунамигенная зона Японского моря проходит вдоль восточного побережья Кореи, западного побережья Японии и юго-западного побережья острова Сахалин, в ней сосредоточены все известные очаги японо-морских цунами.

Основные данные о проявлении сильнейших цунами в Японском море в XX–XXI веках (начиная с 1940 года) представлены в табл. 1.

С целью выявления зависимости цунамиопасности землетрясений в Японском море от географических координат и глубины очага была выполнена серия вычислительных экспериментов, моделирующих цунами в Дальневосточном регионе. При численном моделировании был использован «макросейсмический» источник цунами [7, 8]. Восемь модельных источников были размещены в цунамигенной зоне Японского моря – в районе западного побережья Японии и юго-западного побережья острова Сахалин. Основные параметры модельных источников цунами представлены в табл. 2.

Таблица 1. Сильнейшие цунами на Дальнем Востоке России в XX–XXI веках

Дата	Широта	Долгота	глубина очага, км.	Магни- туда	Заплеск, м
01.05.1939	39.90° N	139.88° E	22	7	0.3/-
01.08.1940	44.47° N	139.52° E	35	7.5	3.5/3.5
16.06.1964	38.44° N	139.23° E	11	7.5	5.8/0.6
05.09.1971	46.56° N	141.19° E	17	6.9	2.05/2.05
26.05.1983	40.46° N	139.09° E	23	7.8	14.5/5.0
12.07.1993	42.85° N	139.20° E	16	7.6	32/4.43
02.08.2007	46.83° N	141.75° E	10.6	6.2	3.2/3.2

В последнем столбце в числителе – максимальный заплеск цунами, в знаменателе – максимальный заплеск на российском побережье Японского моря.

Данные по цунами взяты из [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Таблица 2. Параметры модельных источников цунами

№	Широта центра источника	Долгота центра источника	Азимут направления большой оси°
1	49.30° N	141.70° E	0
2	46.37° N	141.23° E	158
3	44.50° N	139.50° E	0
4	43.00° N	139.30° E	0
5	40.00° N	139.08° E	0
6	37.50° N	137.92° E	55
7	35.83° N	135.00° E	90
8	35.00° N	131.75° E	50

Для каждого модельного источника была выполнена серия вычислительных экспериментов (с разными модельными магнитудами и глубинами очага). На основе статистического анализа распределения фокальных глубин цунамигенных землетрясений в Япономорском регионе, выполненного А.А. Поплавским [9, 10], для численного моделирования были выбраны глубины модельных очагов 10, 20, 40 и 60 км.

Для каждого из восьми модельных источников цунами были проведены четыре серии вычислительных экспериментов. Для глубины очага цунамигенного землетрясения 10 км брались магнитуды 6.5, 6.7, 7.0, 7.2 и 7.5. Для глубин очага 20, 40 и 60 км брались магнитуды 7.0, 7.2, 7.5, 7.7, 8.0, 8.2, 8.5. Таким образом, для каждого из восьми модельных источников цунами было выполнено 26 вычислительных экспериментов.

Для каждой серии вычислительных экспериментов (для модельного очага с определенными координатами и глубиной гипоцентра) определялась пороговая магнитуда цунамигенного землетрясения. Под пороговой магнитудой здесь понимается магнитуда в модельном очаге цунамигенного землетрясения, при которой в одном из прибрежных населенных пунктов региона в процессе моделирования наблюдается интенсивное (с заплеском 1 м или более) цунами, потенциально представляющее угрозу для населения Дальнего Востока России. Высоты заплесков рассчитывались для 22 точек российского побережья Японского моря.

Результаты вычислительных экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Пороговые магнитуды для различных глубин модельных очагов

№	Глубины модельных очагов, км			
	10	20	40	60
1	6.7	7.2	8.0	8.5
2	6.7	7.5	8.0	8.5
3	6.7	7.2	7.7	8.2
4	6.7	7.2	7.7	8.0
5	7.0	7.5	8.0	8.2
6	7.0	7.5	8.2	8.5
7	7.0	7.7	8.0	8.5
8	7.2	7.7	8.2	8.5

Результаты численного моделирования цунами в Японском море показывают, что с увеличением глубины модельного очага от 10 до 60 км,

мы наблюдаем рост пороговых магнитуд от 7 и ниже, до 8 и выше, в зависимости от географических координат модельного очага.

Детальный анализ результатов численных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Для глубины очага 10 км пороговая магнитуда для Татарского пролива и акватории Японского моря западнее Хоккайдо составляет 6,7, что говорит о значительной цунамиопасности акватории Татарского пролива (где, согласно расчетам А.А. Поплавского [9, 10], мелкофокусные землетрясения наиболее вероятны).

2. Для глубины очага 20 км пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря превышает 7, что говорит об адекватности принятой в настоящее время в Службе предупреждения о цунами пороговой магнитуды 7 (при которой в регионе подается тревога цунами) для большей части акватории Японского моря.

3. Для глубин очага 40 и 60 км, пороговая магнитуда для всей акватории Японского моря в первом случае превышает 7,5, а во втором случае ≥ 8 . Это говорит о необходимости учитывать глубину очага землетрясения при принятии решения об объявлении тревоги цунами.

4. На основе результатов вычислительных экспериментов могут быть приняты решения о детализации применяемого в Службе предупреждения о цунами магнитудно-географического критерия цунамиопасности. Это повысит эффективность Службы предупреждения о цунами, как за счет сокращения числа ложных тревог, так и за счет снижения риска фатального пропуска цунами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Заякин Ю.Я.** Цунами на Дальнем Востоке России. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. – 88 с.

2. **Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин** / Под ред. Левина Б.В., Тихонова И.Н. Москва: «Янус-К», 2009. – 204 с.

3. **Соловьев С.Л., Го Ч.Н.** Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968). Москва: Наука, 1974. 309 с.

4. <http://sakhgu.ru/expert/Tsunami/Tsunami.html>

5. http://tsun.ssec.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm

6. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

7. **Поплавский А.А., Золотухин Д.Е., Храмушин В.Н.** Макросейсмическая модель источника цунами и оценка ее эффективности при численном моделировании // Вулканология и сейсмология. – № 1. январь-февраль 2012.- С. 65-72.

8. **Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К.И., Королев Ю.П.** Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: 1997. – 273 с.

9. **Поплавский А.А., Храмушин В.Н.** Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 176 с.

10. **Поплавский А.А., Бобков А.О.** О распределении дальневосточных землетрясений по глубине и магнитуде // Структура, геодинамика и металлогения охотского региона и прилегающих частей северо-западной тихоокеанской плиты: материалы международного научного симпозиума (24 – 28 сентября 2002 г.): сб. статей. Южно-Сахалинск: 2002. Том 2. – С. 64–88.

УДК 912.648

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДНА РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

**Зеньков А.Ф., Костенич А.В., Ставров К.Г.,
Колобов Е.В., Гордеева Е.А.**

*АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»,
Кожевенная линия, д. 41, 199106, Санкт-Петербург,
8(812)322-21-13, mail@gningi.ru*

The report presents the approach for creating a digital model of the bottom relief of the Russian sector of Arctic based on heterogeneous data of bottom relief studies, developed by experts of JSC "GNINGI"

В докладе представлен подход к созданию цифровой модели рельефа дна (ЦМРД) российского сектора Арктики на основе разнородных данных съёмки рельефа дна, разработанный сотрудниками АО «ГНИНГИ» ЦМРД, в качестве батиметрической основы, необходима, для решения различных прикладных задач, требующих привлечения батиметрических данных:

– определения континентальной окраины для обоснования внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) [1];

– построения различных типов геологических карт (тектонических, структурных, геохимических карт, карт осадков, карт металлоносности и т. д.);

– отображения гидрометеорологической, экологической, геофизической, экологической информации в геоинформационной системе (ГИС) и т.д.

Признанная международным сообществом, цифровая модель рельефа морского дна Северного Ледовитого океана (СЛО) ИВСаО [2] составлена в российском секторе Арктики на основе оцифровки изобат и отдельных глубин карты «Центральный Арктический бассейн» масштаба 1:2 500 000 (2003 год, ГУНиО МО РФ) и небольшого количества навигационных карт. Это обстоятельство позволяет говорить о ее недостаточной информативности в настоящее время, на фоне всех имеющихся в нашем распоряжении на данный момент материалов по этому региону. Кроме того, оцифровка изобат дает специфический эффект «искусственного террасирования».

Исправить ситуацию можно создав цифровую модель рельефа морского дна СЛО (российский сектор) на основе всего фактографического материала. По аналогии с ИВСаО мы назвали такую модель RuVCAO – The Russian Bathymetric Chart of the Arctic Ocean.

Нами создана база батиметрических данных СЛО из открытых источников, включающая информацию об основных съёмках рельефа дна, проведенных в российском секторе.

Сложность создания RuVCAO – разнородность информации: съёмки проведены разными методами, различными государствами, на различной аппаратуре съёмки и привязки, в разное время (временной диапазон в 55 лет – это целая эпоха в век технической революции) и т.д. [3]. Для решения данной проблемы мы разработали технологию совмещения в единый массив разнородных данных о глубинах морского дна. В мировой практике аналогичные технологии существуют [2].

Основная особенность подхода ИВСаО – поиск **причин** несоответствия данных. Для этого нужно иметь всю информацию о процессе съёмки.

Наша технология вобрала в себя некоторые приемы, применяемые при построении ИВСаО, например, ранжирование всех разнородных данных по приоритетности (уровню достоверности), исключение из площади полос обзора многолучевого эхолота любых данных с меньшим уровнем достоверности и т.д. Однако общий подход отличается тем, что в RuVCAO определяются расхождения съёмок с меньшим уровнем достоверности по сравнению с более «достоверными», на основе которых вводятся поправки либо напрямую, либо с использовани-

ем различных методов интерполяции. Можно сказать, что принцип построения RuBCAO – совмещение статистических и геостатистических методов с методами морфометрического и экспертного анализов на основе системного анализа.

Раскроем некоторые понятия и их конкретное применение в контексте технологии RuBCAO:

Список приоритетности или уровни достоверности – расположение всех видов съёмки рельефа дна в порядке возрастания (убывания) их достоверности. Под уровнем достоверности съёмки рельефа дна мы понимаем степень приближения результатов съёмки к истинному рельефу дна. Ранжирование съёмок рельефа дна по уровню достоверности осуществляется на основе анализа метаданных съёмок и зависит от априорной или апостериорной неопределенности съёмки, точности привязки результатов измерений, дискретности, плотности измерений в единице площади и т.д.

В качестве примера можно привести сравнение данных многолучевых съёмок рельефа дна, проведенных российским научно-экспедиционным судном «Академик Федоров» (2010-2014 гг.) и американским исследовательским ледоколом «Healy» (2003-2012 гг.). Сравнение проводилось по пересечениям галсов. Было выявлено, что съёмки относятся к одному уровню достоверности, так как нет статистически значимых расхождений по 2 категории стандарта Международной гидрографической организации (ИГО) S-44

Отчет качества (quality control report) по сравнению съёмок рельефа дна представлен в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение данных многолучевого эхолота НЭС Академик Федоров» с данными многолучевого эхолота ИЛ «Healy»

Поверхности сравнения	Количество точек сравнения	Средняя разница между данными многолучевых эхолотов двух судов	СКП разницы	% прохождения критерия (ИГО, S-44, 2 категория)
AF10 vs H07	3 725	-6.7	18.45	99.79
AF10 vs H08	5 732	-3.7	10.0	100
AF10 vs H11	5 646	-2.6	3.6	100
AF10 vs H12	3 446	2.3	9.1	99.94

Статистический метод – поиск и учет систематических расхождений между результатами съёмок с разным уровнем достоверности на их пе-

ресечениях (наложениях). Поиск и учет расхождений может быть реализован методами алгебры карт путем построения поверхности расхождения или «ошибок» менее достоверной съёмки по сравнению с более достоверной. Это достигается вычитанием поверхности одной съёмки из поверхности другой.

Геостатистика – широкое применение интерполяции поправок по поверхности съёмки с меньшим уровнем достоверности методом *Krigging* и *Radial Basis Function* на основе построения вариограмм.

Морфометрический анализ позволяет проводить определение углов наклона между ближайшими точками поверхности и сравнение их с возможными для данных геоморфологических форм. Значительное превышение приемлемых значений углов наклона поверхности дна является поводом для удаления таких точек, как имеющих наименьшее доверие.

Все операции при создании модели проводились с TIN-поверхностями, а конечный результат представлялся в виде растровой модели grid. При этом можно говорить о повышении достоверности съёмок рельефа дна низкого уровня достоверности, участвующих в создании модели за счет снижения систематической составляющей погрешности и введения поправок по результатам интерполяции.

Созданная α -версия RuBCAO не содержит ошибок, присутствующих в IBCAO, что доказано анализом поверхности расхождений между этими двумя моделями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-техническое Руководство Комиссии по границам континентального шельфа [Текст]: [принято пятой сес. Конвенцией Организации Объединенных Наций по Морскому праву CLCS 3-14 мая 1999 г., Нью-Йорк] / официальный перевод на рус. Язык, 1999. – 90 с.

2. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean [Electronic resource] / maintained by: NOAA/NGDC&WDC for MGG, Boulder. – URL: <http://ibcao.org/>

3. **Костенич А.В.** Сравнительная оценка качества российских и зарубежных батиметрических архивных данных на основе результатов высокоточных измерений глубин в Северном Ледовитом океане [Текст] / А.В. Костенич, А.В.Каврайский, Г.Д.Нарышкин [и др.] // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» – СПб: Наука, 2012. – С.259–262.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Кочергин В.С., Кочергин С.В.

*Морской гидрофизический институт РАН,
Севастополь, 299011, Капитанская 2
vskoher@gmail.com*

The adjoint problem solving and influence functions measurement allow to define the coastal zones having an effect on higher suspended matter loads in the region of the Dolgaya spit observed in the satellite images. The model estimation and the satellite data on the suspended matter loads were brought into comparison.

При изучении динамики распространения примесей необходимо использование как современных математических моделей [1, 6, 7], так и методов усвоения данных измерений [5, 8], которые позволяют идентифицировать входные параметры модели. Вариационные алгоритмы усвоения данных измерений основаны на минимизации квадратичного функционала качества прогноза, характеризующего отклонения модельного решения от измеренных значений поля концентрации. При этом модель переноса пассивной примеси выступает в качестве ограничений на вариации входных параметров. Реализация итерационного процесса поиска оптимального распределения входных параметров численного моделирования основана на решении сопряженных задач позволяющих строить градиенты функционала качества в пространстве параметров. Решение соответствующих сопряженных задач являются функциями влияния тех или иных параметров на некоторые интегральные характеристики поля концентрации [5]. Поэтому их построение и анализ представляет определенный интерес с точки зрения идентификации возможных источников загрязнений. Численные эксперименты проводились с моделью [6] для акватории Азовского моря. Были получены поля течений и коэффициенты турбулентной диффузии при различном ветровом воздействии которые использовались в качестве входных параметров при интегрировании модели на срок 5 суток. При этом шаг по времени 240 сек, шаг по пространству 0.78 км, 1.125 км. По вер-

тикали в модели используется расчетная сетка в сигма координатах с 15 горизонтами. Динамические поля, полученные по данной модели, использовались в работах [2–4] для реализации тестовых расчетов по идентификации мощностей источников постоянной и переменной мощности в Казантипском заливе Азовского моря. Алгоритм вариационной идентификации мощности источника подробно описан в [4] хорошую сходимость итерационных процессов поиска оптимальных значений параметров. На рис. 1, 2 представлены снимки поверхности Азовского моря, из которых по яркости регистрируемого излучения можно судить о динамических процессах, происходящих в акватории Азовского моря. Данная динамика сформировалась под воздействием ветров северо-восточного и восточного направления со значениями около 10 м/с. По направлению распространения продуктов горения от источников на суше также можно судить о направлении ветра.



Рис. 1. Концентрация взвешенного вещества
16 октября 2015 года



Рис. 2. Концентрация взвешенного вещества
17 октября 2015 года

На первом этапе расчётов была выбрана область, изображенная на рис. 3, расположенная в области повышенной концентрации взвешенного вещества, у мыса косы Долгой. Результат представлен на рис. 4. Из рис. 4 видно, что на концентрацию взвешенного вещества в указанном районе в основном влияет прибрежная зона вдоль косы Долгой. На втором этапе расчётов, задав постоянный источник в указанной прибрежной области, был проведен эксперимент по моделированию распространения примеси. Результат такого моделирования представлен на рис. 5. Сравнивая результат моделирования с данными полученными с ИСЗ можно сделать вывод о достаточно адекватном описании моделью динамических процессов в Азовском море при таком ветровом воздей-

вии. Результат моделирования в дальнейшем использовался в качестве данных измерений при реализации вариационного алгоритма. На рис. 6 показано падение нормированного функционала качества прогноза.

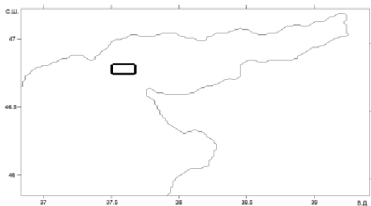


Рис. 3. Область Ω

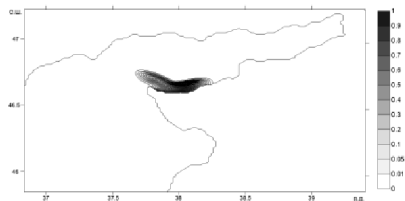


Рис. 4. Функция влияния

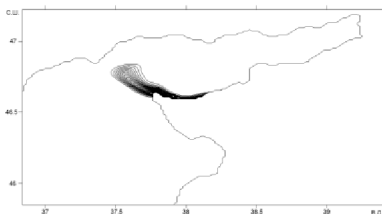


Рис. 5. Модельное поверхностное распределение пассивной примеси

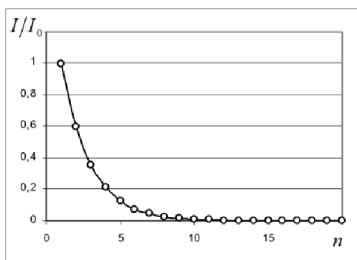


Рис. 6. Падение нормированного функционала качества прогноза

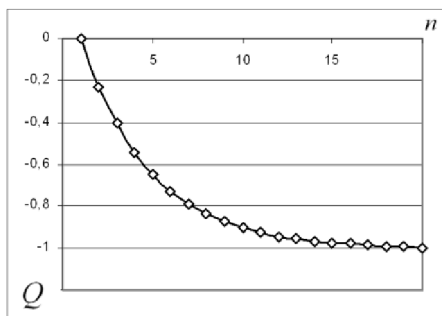


Рис. 7. Идентификация Q в результате итераций

В процессе итераций (рис. 6) происходит падение нормированного функционала качества прогноза, и восстанавливается известное постоянное значение Q_B (рис. 7). В данном случае на дне в прибрежной зоне косы Долгой задается источник, модуль мощности которого равен единице.

Проведенные численные эксперименты показали надежную работу вариационного алгоритма идентификации входных параметров численного моделирования. Идентификация местоположения источника, реализованная на основе решения сопряженной задачи, дала хорошее соответствие со спутниковыми данными. В дальнейшем подход может быть использован при ассимиляции реальных данных о концентрации взвешенного вещества, определяемого по спутниковым снимкам для идентификации возможных источников загрязнения и параметризации динамических процессов переноса примесей различной природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов В.А., Фомин В.В.** Математическое моделирование динамических процессов в зоне моря-суша. Севастополь: ЭКОСИ-гидрофизика, 2008. 363с.

2. **Кочергин С.В., Кочергин В.С., Фомин В.В.** Определение концентрации пассивной примеси в Азовском море на основе решения серии сопряженных задач // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАНУ. 2012. Вып. 26. Т. 2. С. 112–118.

3. **Кочергин В.С.** Идентификация начального поля концентрации для модели переноса пассивной примеси в Азовском море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАНУ. 2012. Вып. 26. Т. 2. С. 123–125.

4. **Кочергин В.С., Кочергин С.В.** Идентификация мощности источника загрязнения в Казантипском заливе на основе применения вариационного алгоритма // Морской гидрофизический журнал. 2015. №2. С. 79–88.

5. **Марчук Г.И.** Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320с.

6. **Фомин В.В.** Численная модель циркуляции вод Азовского моря // Научные труды УкрНИГМИ. 2002. Вып. 249. С. 246–255.

7. **Blumberg A. F., Mellor G. L.** A description of the three-dimensional coastal ocean circulation model // Three-dimensional coastal ocean models, Am. Geoph. Union. 1987. Vol. 4. P. 1–16.

8. **Marchuk G.I., Penenko V.V.** Application of optimization methods to the problem of mathematical simulation of atmospheric processes and environment // Modelling and Optimization of Complex Systems, Proc. Of the IFIP-TC7 Working conf. New-York: Springer 1978. P. 240–252.

УДК 504.064.38: 51-37

АППАРАТНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНОГО И РАДИАЦИОННОГО ФОНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ГРУНТОВ ВОДОЕМОВ

Ермаков И.Д.¹, Певневцев Н.А.², Вонсовский Н.Н.³

¹ *Каспийский филиал института океанологии им. П.П.Ширшова РАН,
ул. Савушкина, д. 6, корп. 27, офис 5, 414056, г. Астрахань,
8(8512)54-45-59, iwan30rus@mail.ru*

² *Общество с ограниченной ответственностью «АкваСервис»,
ул. Набережная Приволжского залива, д. 14, офис 31«а», 414000,
г. Астрахань, 8(8512)54-38-18, agva87@mail.ru*

³ *Общество с ограниченной ответственностью «СНИП-АУНИС»,
ул. Расплетина, д. 5, 123060, г. Москва, 8(499)198-97-91, info@aunis.ru*

The paper describes the working tools of the remotely operated underwater vehicle (ROV) "Super GNOM Pro" for the evaluation of thermal and radiation background of the seabed surface layer in the Northern part of the Caspian sea.

Тысячи лет прошли от первых свободных погружений до появления первых подводных лодок. На протяжении всего этого времени человек шаг за шагом создавал средства для проникновения в моря, реки и озёра. В наши дни ученые, исследователи и инженеры совершенствуют возможности подводной техники и в том числе – телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов, получивших широкое признание во всем мире. Стоит отметить, что наиболее интенсивно развивается разработка телеуправляемых подводных аппаратов (далее – ТПА), способных выполнять практически все виды подводно-технических работ [1]. И всё более очевидным становятся преимущества ТПА по сравнению с водолазными методами работ.

Одним из важных видов подводно-технической работы является проведения мониторинга придонного слоя грунта. Это в свою очередь включает в себя: отбор проб грунта, измерение термального и радиационного фона придонного слоя грунта [2].

Такие столь сложные телеметрические операции можно использовать при помощи так называемых «рабочих инструментов» ТПА. Рабочие инструменты могут включать как простые инструменты, которые вкладываются в кисть манипулятора, так и многофункциональные инструменты, требующие дополнительного гидравлического или электрического источника питания [1].

В течение нескольких лет на Северном Каспии Каспийским филиалом института океанологии проводятся мониторинговые исследования термального и радиационного фона. Измерение температуры проводятся водолазами по утвержденной сетке измерений путем заглубления чувствительной части термометра под слой грунта на глубину 20 см. Измерение радиационного фона проводится путем прикладывания дозиметра, в специальном герметичном боксе, к грунту.

Важнейшим аспектом в изучении термальных процессов в придонных слоях водоемов является обнаружение незначительных флюидопроявлений на локальных участках дна, имеющих как естественное, так и искусственное происхождение.

В августе 2016 года в ходе проведения научной экспедиции в Каспийское море были проведены тестовые испытания двух рабочих инструментов ТПА «Супер ГНОМ Про»:

- устройства заглубления термометра (рис. 1);
- подводного дозиметра (рис. 2).

Устройство заглубления предназначено для заглубления чувствительной части термометра на 20 см. под слой грунта. Управление данным устройством производится с пульта управления ТПА. Значение температуры выводится на экран оператора ТПА. Уникальность этого рабочего инструмента состоит в том, что вращательное движение бура и поступательное движение рамы крепления бура приводится в движение одним электроприводом. Скорость вращения бура примерно 1 об/мин., что позволяет с лёгкостью забуриваться как в довольно плотные грунты (песчано-илистые) так и в менее плотные (битая ракуша).

Дозиметр-радиометр представляет собой прибор МКС-03СА, помещенный в герметичный бокс. Прибор установлен таким образом, что при опускании ТПА на грунт происходит непосредственный контакт прибора с грунтом, и, таким образом, происходит измерение радиационного фона. Показания прибора снимаются путем наведения камеры ТПА на дисплей дозиметра-радиометра.



Рис. 1. Устройство заглублиния термометра

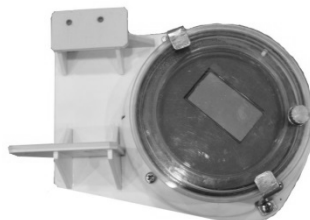


Рис. 2. Подводный дозиметр



Преимущества данных устройств в том, что процесс измерения термального и радиационного фона поверхности дна исключает использование профессиональных водолазов (рис. 3). Это в свою очередь минимизирует риск получения травм и уменьшает стоимость проведения работ.

Рис. 3. ТПА «Супер ГНОМ Про» с навесными дозиметром-радиометром и устройством заглублиния для термометра при проведении испытаний в бассейне

ЛИТЕРАТУРА

1. **Войтов Д.В.** Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. Изд. МОРКНИГА, М. 2012. С. 7, 40.
2. **Ушивцев В.Б., Монахов С.К.** Труды Каспийского филиала ИО РАН. Выпуск 1 «Окружающая среда и экосистема Каспийского моря». Астрахань. 2016. С. 260–262.

О СТРУКТУРАХ И ОБЪЕКТАХ ДОННОГО АНТРОПОЦЕНА В ГИАМЗ «ФАНАГОРИЯ»

**Бреховских А.Л.¹, Гринберг О.В.¹, Евсенко Е.И.¹, Клюев М.С.¹,
Ольховский С.В.², Сажнева А.Э.¹, Шрейдер А.А.¹, Шрейдер Ал.А.¹**

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36, тел. 8(495)380-41-50,
mklyuev@mail.ru*

²*Институт Археологии РАН
117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19, тел. 8(499)1243690,
ptakkon@yandex.ru*

Results of bottom structures and objects explorations in Phanagoria reservation using sonar profiling system fitted on small vessel are presented. Analysis methods and processing are described. The object map is given.

В последнее время в лаборатории геодинамики, георесурсов и геоэкологии ИО РАН была разработана система гидроакустического параметрического профилографирования донных антропоценовых осадков с маломерных судов (система ГПП-ДАО-МС) [1–2]. Она позволяет получать данные о рельефе поверхности, внутренней структуре и объектах донных антропоценовых осадков [3], а также объектах водной среды с привязкой к географическим координатам.

С помощью этой системы было проведено предварительное гидроакустическое профилирование полигона в затопленной части Государственного историко-археологического музея-заповедника (ГИАМЗ) «Фанагория» на берегу Таманского залива Краснодарского края вблизи поселка Сенной.

Целью исследований было изучение возможностей системы по выявлению структур и объектов культурного наследия, погребенных в донных антропоценовых осадках морской части ГИАМЗ «Фанагория», а также разработка алгоритмов их картографирования.

Полигон имел вид прямоугольника, вытянутого в направлении примерно запад-восток (азимут около 80°) с размерами около 1400×300 м. Точки границ полигона имеют примерные координаты: 36° 56.940' в. д. 45° 16.600' с. ш. (юго-западная), 36° 56.940' в. д. 45° 16.840' с. ш. (северо-

ро-западная), 36° 57.980' в. д. 45° 16.760' с. ш. (юго-восточная), 36° 57.980' в. д. 45° 16.940' с. ш. (северо-восточная).

Глубины в месте проведения исследований меняются от 0,5 до 3,5 м. Дно слагается осадочными илами и песком с включением ракушек, местами образующими ракушечные слои. Оно частично покрыто водорослями различной густоты высотой до метра. Аппаратура позволяла визуализировать структуру дна примерно на 2 м в его толщу при отсутствии водорослей и примерно на 1 м при их наличии.

При обследовании полигона маломерное судно с системой двигалось по сетке галсов, охватывающей полигон, со скоростью около 2 узлов под управлением программы судовождения AquaScan, в результате чего были получены гидроакустические профили формы дна и его внутренней структуры с помощью компьютерной программы SeaNet с привязкой к географическим координатам.

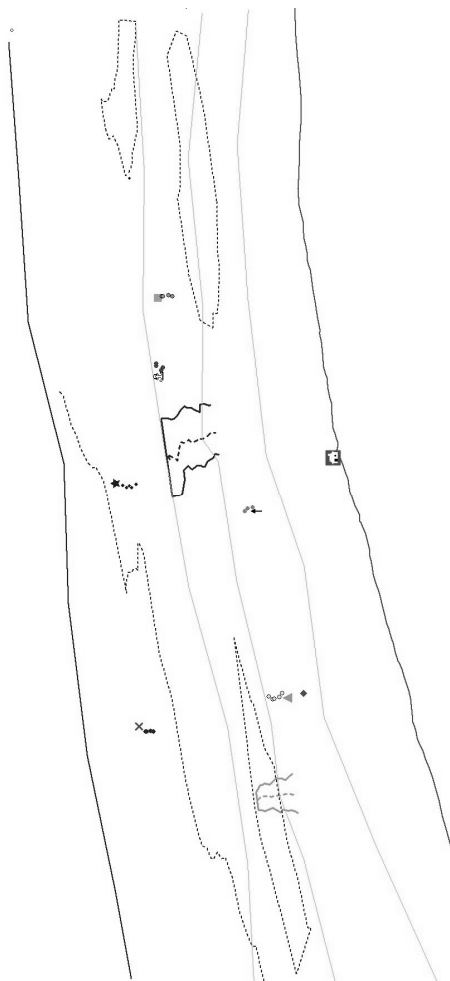
Обработка профилей производилась визуально согласно разработанным алгоритмам. При этом в качестве критериев наличия донных структур и объектов использовались следующие:

1. Наличие возвышений, понижений и травы на донной поверхности;
2. Наличие в толще дна или на его поверхности областей с повышенным (пониженным) обратным откликом гидроакустического сигнала относительно прилегающих областей;
3. Нарушение однородности донных слоев, границ слоев, рельефа дна, или водорослей;
4. Совместный анализ информации эхолота и профилографа;
5. Анализ записей при различных значениях порогов и в разных псевдоцветах;
6. Наличие подобных особенностей (пп.1-3) на первом кратном отражении;
7. Наличие подобных особенностей (пп.1-4) на соседних галсах и их группирование в цепочки.

При обработке данных использовались также элементы математической теории распознавания образов.

В результате этой обработки был выявлен целый ряд донных структур и объектов, положения которых были нанесены на план полигона, построенный с помощью компьютерной программы Global Mapper.

В результате исследований была подтверждена эффективность системы ГПП-ДАО-МС, адекватность алгоритмов и методик обработки данных, выявлены и локализованы некоторые донные структуры и объекты ГИАМЗ «Фанагория», а также получен электронный интерактивный план их расположения.



коричневая сплошная линия – южная береговая линия, синяя сплошная линия – северная морская граница полигона, дом – причал, лагерь, красный крест – затопленный подъемный кран, оранжевый квадрат – затопленный перевернутый баркас, синяя звезда – затопленный пароход, черная стрелка – затопленная галера, якорь – затопленные турецкие якоря, желтый треугольник – древний ряж (пристань), коричневый ромб – насыпной островок, бордовая сплошная линия – границы каменного мола (пунктир – его вершина, прямой пунктир – дорога с подъемом), песочная сплошная линия – граница известнякового мола (пунктир – его вершина), зеленая пунктирная линия в левом верхнем углу – граница водорослей (слева – нет, справа – есть), зеленые пунктирные линии – полянки в водорослях, голубые сплошные линии – батиметрия 0.5, 2 и 3.5 м.

Рис. 1. План расположения структур и объектов в ГИАМЗ «Фанагория»

Работа выполнена в рамках Государственного задания №0149-2014-0030, грантов РФФИ №15-06-02485 и №17-06-00318, а также Программы 46П фундаментальных исследований Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюев М.С., Ольховский С.В., Фазлуллин С.М., Сажнева А.Э., Евсеенко Е.И., Шрейдер Ал.А. О возможностях системы параметрического профилографа, эхолота и приемника ГЛОНАСС/GPS для ком-

плексных исследований донных антропоценовых осадочных отложений // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Том V. М.: ГЕОС. 2015. С.132–136.

2. Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И. Высоко-разрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. – М.: ООО «Кватернион», 2016, № 2(6), с.156–161.

3. Crossland C.J., Kremer H.H., Lindeboom H.J., Marshall J.I. Coastal Fluxes in the Anthropocene. Springer Edition, 2004. 234 p.

4. Клюев М.С., Ольховский С.В., Шрейдер А.А. О модели подводной территории ГИАМЗ «Фанагория» // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах. Сборник тезисов докладов школы. – М.: ООО «ПРИНТ ПРО», 2016. С.102–105.

УДК 528.92

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЛАДКОГО РЕЛЬЕФА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

Абрамов А.М., Жуков Ю.Н.

АО «Государственный научно – исследовательский навигационно – гидрографический институт», Кожевенная лин., 41, 199106, г. Санкт – Петербург, 8(812)322-21-13, mail@gningi.ru

In the report the use of the Morse – Smale complex (MSC) is described to represent various smooth surfaces. It is shown how to use the MSC to compare maps of certain physical fields of the oceans.

В докладе рассматриваются гладкие поверхности, часто используемые в океанографии для представления пространственного распределения параметров некоторых физических полей Мирового океана: подводного рельефа, температуры, солености и др. Наглядными признаками такой поверхности являются показанные на морских картах гладкие изолинии, которые соединяют равные значения параметра поля (изобаты, изотермы, изогалины и др.). Для проверки корректности их пред-

ставления целесообразно использовать некоторые известные топологические закономерности.

Наиболее наглядно, топологические закономерности, свойственные гладким поверхностям можно продемонстрировать на картографических отображениях рельефа [1]. Можно показать некоторое соответствие между линиями и точками, используемыми в геоморфологии для выделения форм рельефа Земли, и критическими точками и линиями, образующими комплекс Морса – Смейла (КМС), который фрагментирует гладкую поверхность, заданную векторной функцией, на участки с однородным градиентом этой функции [2]. Из теории Морса следует строгое соотношение между критическими точками КМС, выполняемое для любой гладкой поверхности, которое может быть использовано для проверки корректности ее картографического представления, упрощения при изменении масштаба представления, а также для сравнения поверхностей между собой [3].

В последние годы были разработаны автоматизированные методы вычисления границ КМС на заданных наборах точечных данных, что делает возможным практическое использование средств вычислительной техники для моделирования физических полей Мирового океана, представляемых непрерывной гладкой поверхностью[4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жуков Ю.Н.** Математические инструменты описания картографического отображения рельефа Земли // Навигация и гидрография, № 32, 2011. – С. 60–69.
2. **Forman R.** Morse theory for cell complexes // *Advances in Mathematics*, №134, 1998. – P. 90–145.
3. **Абрамов А.М.** Безинтерполяционный метод определения на картах границ опасных участков морского дна // Навигация и гидрография № 42, 2015. – С. 27–31.
4. **Жуков Ю.Н.** Автоматизированный метод нахождения линий водоразделов и тальвегов // Навигация и гидрография № 35, 2013. – С. 58–63.
5. **King H., Knudson K., Mramor N.** Generating Discrete Morse Function from Point Data // *Experimental Mathematics*, v. 14 № 4, 2005. – P. 435–444.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА В РЕЖИМЕ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**Бреховских А.Л.¹, Гринберг О.В.¹, Евсенко Е.И.¹, Клюев М.С.¹,
Ольховский С.В.², Сажнева А.Э.¹, Шрейдер А.А.¹, Шрейдер Ал.А.¹**

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36, тел.8(495)380-41-50,
mklyuev@mail.ru*

²*Институт Археологии РАН
117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19, тел.8(499)1243690,
ptakkon@yandex.ru*

The application of hydroacoustic parametric profilograph in slope sensing mode is considered. The experimental results of slope sensing are presented. The adequacy of the technique is confirmed.

В последнее время была предложена методика поиска внутридонных объектов с помощью гидроакустических параметрических профилографов при наклонном зондировании [1–2]. Суть этой методики заключается в сканировании узким (единицы градусов) наклонным лучом параметрического профилографа внутридонных объектов за счет эффекта проникновения луча в дно по закону Снеллиуса. Однако экспериментальное подтверждение этой методики до сих пор отсутствовало.

Экспериментальная проверка этой методики осуществлялась в Таманском заливе Краснодарского края вблизи поселка Сенной с помощью системы гидроакустического параметрического профилографирования донных антропоценовых осадков с маломерных судов [3]. Параметрический излучатель формировал луч шириной около 4.5° на частоте 20 кГц и мог поворачиваться из штатного вертикального положения в наклонное вплоть до горизонтального. Глубина места в районе работ составляла около 3 метров, а дно слагалось песчаными илами, частично покрытыми водорослями высотой до 0.5 м.

Эксперименты проводились над расположенной полностью в дне кормою парохода начала 20 века с паровой установкой шириною около

6 метров (рис. 1–3) и лежащим на дне железным плавучем кране высотой около 2 м над дном и длиной около 25 м (рис.4).

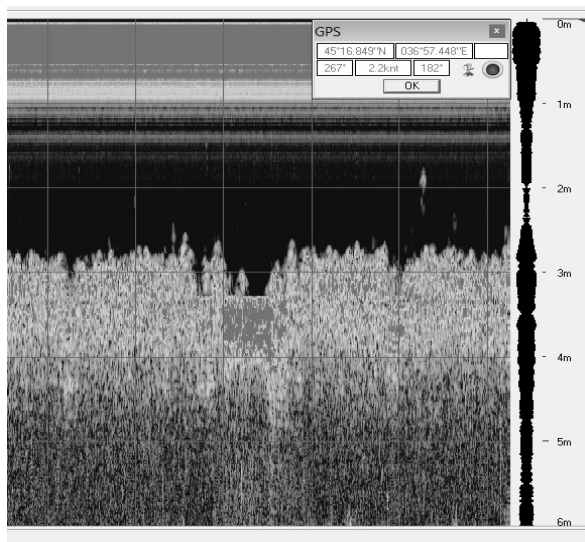


Рис. 1. Штатное вертикальное зондирование – 0°

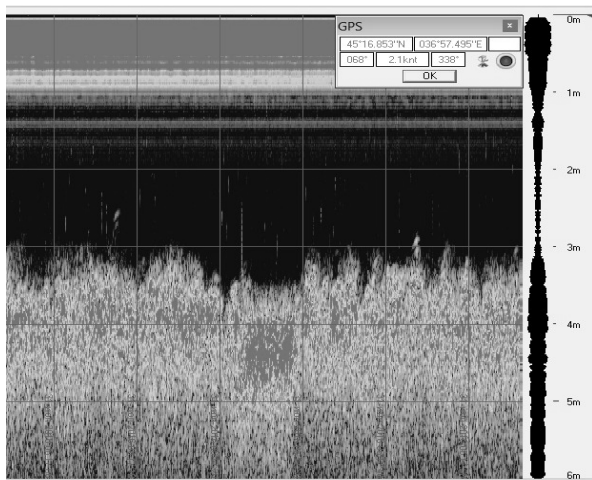


Рис. 2. Наклонное зондирование – 30°

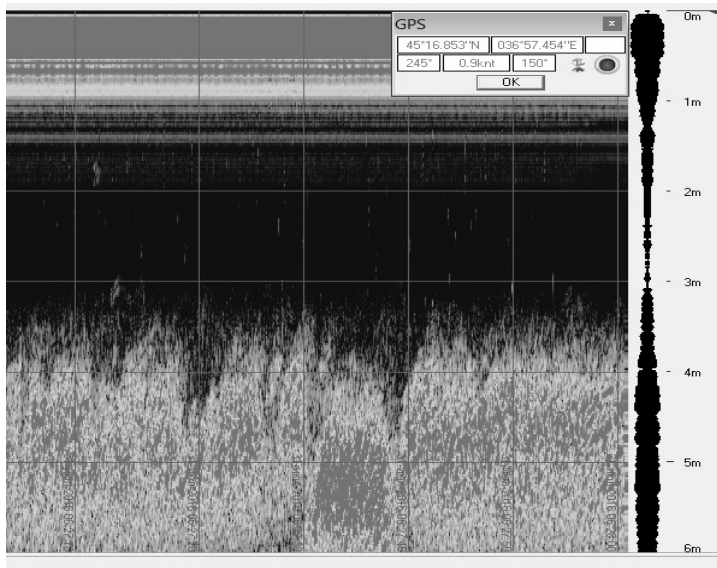


Рис. 3. Наклонное зондирование – 45°

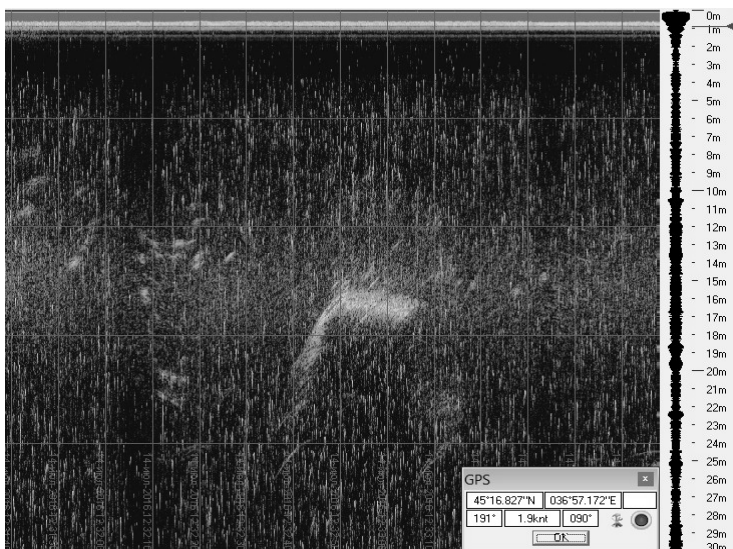


Рис. 4. Горизонтальное зондирование – 90°, дальность 16 м

При штатном вертикальном зондировании (отклонение от вертикали 0°) отчетливо виден поперечный разрез кормы парохода (рис.1, яркая аномалия) длиной около 6 м. При наклонном зондировании (отклонения от вертикали 30° и 45°) также хорошо заметен поперечный разрез кормы парохода (рис. 2–3, яркие аномалии) длиной около 6–8 м. При горизонтальном зондировании (отклонения от вертикали 90°) отчетливо виден боковой профиль плавучего крана (рис. 4, яркая аномалия) длиной около 25–30 м. На рис.1–4 вертикальная сетка соответствует 10 секундным меткам, что при скорости профилирования около 1 м/с соответствует 10 м дистанции.

Отметим, что с увеличением угла наклона контрастность внутридонного объекта на фоне осадков снижается, а его контуры расплываются, так что свыше некоторого угла объект может слиться с фоном осадков. При горизонтальном зондировании возвышающихся над дном объектов их контрастность спадает с увеличением расстояния.

Полученные экспериментальные данные показывают эффективность использования гидроакустического параметрического профилографа в режиме наклонного зондирования, что подтверждает работоспособность, эффективность и адекватность методики, предложенной в работах [1–2].

Работа выполнена в рамках Государственного задания №0149-2014-0030, грантов РФФИ №15-06-02485 и №17-06-00318, а также Программы 46П фундаментальных исследований Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сычев В.А.** Методологические особенности поиска поддонных объектов параметрическими гидролокаторами. Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2015). М., 2015, Т.2, С. 92–96.

2. **Сычев В.А.** Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов / В.А. Сычев // Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». М., 2014. С. 35–46.

3. **Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И.** Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. – М.: ООО «Кватернион», 2016. № 2(6). С.156–161.

ПОДВОДНЫЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК И ЕГО ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Фазлуллин С.М.^{1,2}, Тарасов А.С.²

¹*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Нахимовский проспект, 36, 117997, г. Москва*

²*Российский Государственный Гуманитарный Университет,
Миусская площадь, 6, 125267, г. Москва
+79104407363, sh1703@yandex.ru*

In the past 20 years in many countries, there is an explosive growth of the recreational diving. One of the forms of presenting information about the underwater world and the history of civilization began underwater archaeological parks [1]. The authors suggest a principled approach to the engineering infrastructure of the underwater archaeological park.

Как правило, в современных подводных археологических парках отсутствует инженерная инфраструктура, позволяющая свести к минимуму разнообразные риски [2]. С нашей точки зрения, инженерная система подводного парка должна:

- Обеспечивать размещение в парке ценных экспонатов;
- Обеспечивать размещение хрупких предметов;
- Создавать оптимальное освещение для экспонатов;
- Покрывать подводными инженерными сетями большие площади;
- Размещать в парке большие экспонаты кораблей с организацией их внутренней инфраструктуры;
- Создавать подводные убежища для кратковременного пребывания посетителей;
- Организовывать транспортировку туристов по подводному парку на специальной плавучей платформе.

В нашем понимании подводный парк с интегрированной инженерной системой состоит из двух частей. Первая часть – это береговая часть подводного парка, где располагается вся надводная или береговая часть инженерной системы. Вторая часть – это подводная часть парка, где располагается подводная часть инженерной системы. Обе части объединяются посредством специализированного сетевого интерфейса и образует единую систему [3].

Инженерную систему подводного парка можно рассматривать как единый организм, в котором осуществляется взаимодействие нескольких функциональных систем, среди которых можно выделить основные три:

- система безопасности;
- система жизнеобеспечения;
- система комплексной автоматизации.

Каждая из перечисленных функциональных систем представляет собой сложную структуру взаимодействия более простых систем. При этом каждая простая система по своим свойствам является автономной самостоятельной системой, которая может работать не только в составе сложной функциональной системы, но отдельно от неё, что значительно повышается надёжность как функциональной системы, так и всей инженерной системы подводного парка в целом.

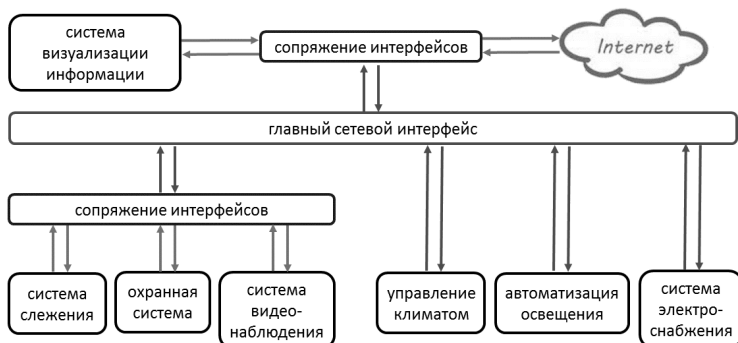


Рис. 1. Схема взаимодействия систем подводного парка

В системе безопасности можно выделить следующие отдельные системы: система охраны, система слежения и система видеонаблюдения. Система жизнеобеспечения состоит из системы управления электропитанием, системы управления климатом и составом воздуха и системы управления освещением. Система комплексной автоматизации представляет собой совокупность систем связи и взаимодействия, в которых можно отдельно выделить главный сетевой интерфейс и систему сопряжения интерфейсов. В систему комплексной автоматизации также входит система визуализации информации или человек-машинный интерфейс. Система комплексной автоматизации обеспечивает взаимодействие всех остальных систем и взаимодействие всей инженерной системы парка с оператором через главный сетевой интерфейс. Те сис-

темы, которые не имеют возможности подключаться к главному сетевому интерфейсу напрямую, подключаются через систему сопряжения интерфейсов. Систему комплексной автоматизации можно рассматривать в качестве электронной нервной системы подводного парка. Оператор инженерной системы может иметь как полный, так и ограниченный доступ ко всем параметрам и состоянию системы подводного парка в зависимости от уровня доступа.



Рис. 2. Структура инженерных систем

Инновационной системой является система слежения, которая входит в функциональную систему безопасности. Эта система, как и многие другие, состоит из двух частей: подводной и береговой. В состав подводной части системы входят различные датчики и контрольно-измерительные устройства, которые обрабатывают информацию с датчиков. Датчики служат для контроля периметра самого парка, контроля периметров экспозиций, контроля экскурсионных групп и отдельных посетителей. Например, на рядового посетителя подводного парка устанавливается ультразвуковой датчик. Данные с ультразвукового датчика всё время передаются через специализированный измерительный модуль в общий сетевой интерфейс через систему сопряжения интерфейсов в вычислительный центр, который располагается в береговой части инженерной системы парка. В вычислительном центре собирается и обрабатывается вся информация инженерной системы. Некоторые параметры и результаты обработки и вычислений выводятся на панель оператора. Таким образом, инженерная система парка сможет идентифицировать отдельных посетителей и группы посетителей парка. И если

посетителю дополнительно предоставить подводное переговорное устройство, то при подходе к определённом экспонату, посетителю или экскурсионной группе можно передавать аудиоинформацию об экспонате, его истории или указывать дальнейшее направление движения. Поскольку система слежения входит в состав функциональной системы безопасности, то все данные данной системы обрабатываются и системой охраны, которая также входит в состав системы безопасности и на базе этих данных реализуется алгоритм вычисления «свой-чужой», который идентифицирует всех нарушителей подводного парка.

Функциональная система безопасности подводного парка, опираясь на данные, входящей в её состав системы слежения, управляет сложными исполнительными механизмами через активаторы. Например, привод поворота подводной видеокамеры, которую необходимо поворачивать в направлении экскурсионной группы или отдельного посетителя с целью повышения безопасности экскурсии, а также камерами необходимо фиксировать обнаружения нарушения периметров экспозиций и периметра подводного парка.

Не менее важной является функциональная система жизнеобеспечения подводного парка, которая также состоит из нескольких систем: системы автоматизации освещения, системы управления электроснабжением и активаторами, системы управления климатом, системы управления водоснабжением. Каждая из этих систем включает в себя набор датчиков с контрольно-измерительными модулями и набор исполнительных механизмов, которые управляются от активаторов. Все системы объединяются в единую сеть через главный сетевой интерфейс.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фазлуллин С. М.** Подводные парки и сохранение объектов подводного культурного наследия. // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2015. № 2 (18). С. 112–127.
2. **Фазлуллин С. М.** Подходы к управлению подводным культурным наследием. // Проблемы изучения и сохранения морского наследия России: Первая Международная научно-практическая конференция. Материалы. – СПб.: Терра Балтика. – 2010. С. 206–212.
3. **Tarasov A.S., Fazlullin S.M.** Underwater park as an engineering system // 9th International Symposium on Underwater Research, 15 November, 2015, Kemer-Antalya / Turkey, abstracts, P. 18–20.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭСТУАРИЯХ И РЕЧНЫХ ДЕЛЬТАХ

Римский-Корсаков Н.А.¹, Пронин А.А.¹,
Коротаев В.Н.², Иванов В.В.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
nrk@ocean.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, д.1, 119991, г. Москва, 8(495) 939-5697, vlaskor@mail.ru

Comparative analysis of morpholithodynamics processes in estuaries and river deltas on the basis of field geophysical and hydrographic research performed by IO RAS and Moscow state University in 2013–2015 is given in this report.

Геофизические и гидрографические исследования, выполненные сотрудниками Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова и Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ в период 2013–2015 гг. в высоко приливных эстуариях Мезени и Онеги и в мало приливной многоорукавной дельте Северной Двины значительно расширили существующие представления о морфологии и динамике донного рельефа в этих устьевых системах [1].

Под *эстуариями* понимаются воронкообразные заливы в устьях рек, подверженные действию приливо-отливных течений. В понятие *речной дельты* входит комплекс субаэральных и субаквальных аллювиально-морских и прибрежно-морских аккумулятивных и эрозионных форм рельефа, слагающих их отложений и система водотоков, сформированных рекой и морем в пределах устьевого конуса выноса реки за определенный исторический интервал времени [2].

Отличительными признаками *типичного эстуария* (раструбовидного залива) являются: приливы высотой от 2 до 7 м, постепенно расширяющееся от вершины эстуария к устьевому створу русло в устье реки, отсутствие или очень незначительное накопление дельтовых отложений в вершине эстуария, реверсивный характер течений и потоков донных

наносов в устьевой части русла, наличие обширной зоны аккумуляции наносов на устьевом взморье мористее устьевого створа эстуария в виде устьевых баров или грядовых форм подводного рельефа и полное перемешивание речных и морских вод по мере усиления приливной составляющей.

Современную дельту Сев. Двины по особенностям литодинамических процессов можно классифицировать как *многорукавную дельту выполнения устьевого лагуны*. Районы современной речной аккумуляции занимают акватории крупных дельтовых рукавов. Здесь формируются молодые острова с высотными отметками около 1 м, сложенные речным аллювием и затопляемые ежегодно в период половодья.

Горизонтальные русловые деформации в дельтовых рукавах протекают медленно, только на отдельных участках скорость размыва берегов может достигать 1,5–2 м/год. Обычно такие размывы наблюдаются в пределах вогнутых берегов в вершинах излучин. На остальных участках темпы размыва берегов не превышают 0,5–1,0 м/год. Вертикальные русловые деформации имеют сезонную и многолетнюю составляющие. В многолетнем плане наблюдается постепенное понижение отметок дна от истока к устью в Никольском и Мурманском рукавах (размыв) или повышение дна в Корабельном рукаве (аккумуляция). Сезонные переформирования связаны с формированием грядового рельефа и его деформациями, обусловленные прохождением половодья.

Продольное эхолотирование и гидролокационное картирование в межлетний период позволило выявить основные закономерности строения рельефа дна. В иерархической структуре донного рельефа выделяются гряды различного порядка: макроформы – *песчаные волны* длиной от 5,6 до 9,8 км и высотой от 6 до 7 м; мезоформы – *дюны* длиной от 50 до 900 м и высотой от 0,5 до 4,5 м и микроформы – *рифели* длиной от 5 до 10 м и высотой до 0,1 м

Влияние приливо-отливных явлений, проникающих в русла дельтовых рукавов, приводят к уменьшению крупности донных отложений вследствие оседания части взвешенных наносов при формировании так называемой «манихи» – длительного стояния неизменного уровня воды.

Устьевая область р. Онеги является в некотором роде уникальной, что связано со специфическими геологическими условиями и невыработанностью продольного профиля дна в подстилающих коренных породах. Короткий, не соответствующий водности реки, устьевой участок является причиной аномального затухания приливной волны и ограниченной дальности проникновения соленых вод взморья только до Кокоринского порога. Взвешенные наносы, поступающие в вершину эстуа-

рия Онеги, проходят транзитом до устьевого взморья, где аккумулируются в виде маломощного устьевого бара (слой современных песчаных отложений не более 2–3 м). Дно эстуария выполнено валунно-галечным материалом, покрывающим речное русло, выработанное в коренных гранитах. Современные накопления аллювиальных отложений в эстуарии р. Онеги наблюдаются только в его вершинной части, ниже Кокоринских порогов, представляя начало формирования субэвральная дельты общей площадью около 5 км².

Морфолитодинамические процессы в высокоприливном эстуарии **Мезени** (сизигия – 8,5 м) обусловлены приливно-отливными течениями, речным стоком, ветровым волнением и вдольбереговыми потоками наносов. Вследствие перемещения огромной массы наносов в эстуарии Мезени происходят интенсивные деформации илисто-песчаных отмелей, переформирования дна русловых бороздин и смещения судоходных фарватеров. В целом, идет постепенный процесс заполнения эстуария р. Мезени речными и морскими наносами. В русловых бороздинах эстуария формируются разнообразные песчаные грядовые формы.

По данным анализа навигационных карт основной канал движения приливо-отливных вод на участке р. Сёмжа–р. Пья сместился за период 1893–1960 гг. от восточного к западному борту эстуария. По оценкам интенсивности абразии берегов эстуария (например, на участке от устья р. Сёмжи до м. Рябинов за 5 лет берег отступил на 15 м) количество обломочного материала, поступающего в береговую зону моря от абразии берегов Мезенского залива, достигает 30 млн т/год, что в 30 раз больше ежегодно выносимого объема взвесей р. Мезень [16]. Вследствие перемещения огромной массы наносов в эстуарии Мезени происходят интенсивные деформации илисто-песчаных отмелей, переформирования дна и резкие смещения судоходных фарватеров. Например, г. Мезень, находившийся в XVI в. на берегу эстуария, сейчас отделен от реки дельтовой поймой шириной 2,5 км. В целом, идет постепенный процесс заполнения эстуария р. Мезени речными и морскими наносами. Со времени первого инструментального обследования залива в 1914–1915 гг. глубины в районе устьевого створа уменьшились на 2–3 м. Эти же тенденции характерны для вершины эстуария в районе г. Мезень.

На устьевом взморье при наличии приливных течений и ветровых волн разных направлений создаются сложные донные аккумулятивные формы. Наиболее распространенными являются так называемые песчаные волны или гигантская рябь («кошки») – серия гряд высотой до 0,5 м, образующиеся на отмеле дне (уклоны менее 0,005) при скоростях течения 0,3–0,8 м/с.

Из районов абразии берегов Мезенского залива и собственных выносов взвешенного материала рек Мезени и Кулоя отливной поток перемещает тонкий песок и илы на север, где в районе уменьшения скоростей течения происходит аккумуляция песка и формирование песчаных волн. Тонкий взвешенный материал выносится за пределы устьевого взморья далее в Белое море.

Таким образом, спецификой морфолитодинамических процессов в высоко приливных эстуариях является отсутствие современной дельты, развитие подвижных осередков внутри эстуария и формирование обширного устьевого бара на открытом устьевом взморье. В многоруканных дельтах наблюдается интенсивный процесс наращивания морского края дельты за счет устьевого удлинения дельтовых рукавов и формирования небольших устьевых баров в устьях подводных русловых бороздин, выходящих на открытое взморье. Одновременно происходит процесс заполнения речными наносами остаточных акваторий в пределах субаэральной дельты и формирование морских береговых баров по внешнему периметру морского края наземной дельты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Римский-Корсаков Н.А., Коротаев В.Н., Иванов В.В., Пронин А.А., Демиденко Н.А. Гидрофизические и морфолитодинамические процессы в эстуарии Онега // Океанология. 2013. Том. 53. № 5. С. 1–9.
2. Коротаев В.Н., Демиденко Н.А., Бабич Д.Б. Эстуарные системы России: типизация и гидролого-морфологические процессы // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. С.253–269.

О ПОВЫШЕНИИ ПЛОЩАДНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОФИЛОГРАФОВ

**Бреховских А.Л.¹, Гринберг О.В.¹, Евсенко Е.И.¹, Клюев М.С.¹,
Ольховский С.В.², Ракитин И.Я.¹, Сажнева А.Э.¹, Шрейдер А.А.¹,
Шрейдер Ал.А.¹**

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36, тел.8(495)380-41-50,
mklyuev@mail.ru*

²*Институт Археологии РАН
117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19, тел.8(499)1243690,
ptakkon@yandex.ru*

Methodology of areal efficiency increase of profiler parametric sonar is considered. It is based on the simultaneous use of multiple profilers combined in the spatial range. Experimental verification of the proposed methodology is carried out and its confirmation is obtained.

Гидроакустические параметрические профилографы позволяют существенно улучшить угловое разрешение донных объектов за счет узкой диаграммы направленности, составляющей единицы градусов [1]. Однако при сужении диаграммы направленности сокращается площадная производительность профилографа, определяемая как площадь дна, обследуемая в единицу времени:

$$q = 2 h v \operatorname{tg}(\alpha/2), \quad (1)$$

где h – глубина места, v – скорость судна-носителя, α – ширина диаграммы направленности.

Для повышения производительности предлагается объединять однотипные профилографы в пространственную линейку из n профилографов, расположенную перпендикулярно направлению проведения съемки, при условии, что их диаграммы направленности не пересекаются (рис. 1). В этом случае суммарная площадная производительность линейки профилографов будет равна:

$$Q = n q = 2 n h v \operatorname{tg}(\alpha/2). \quad (2)$$

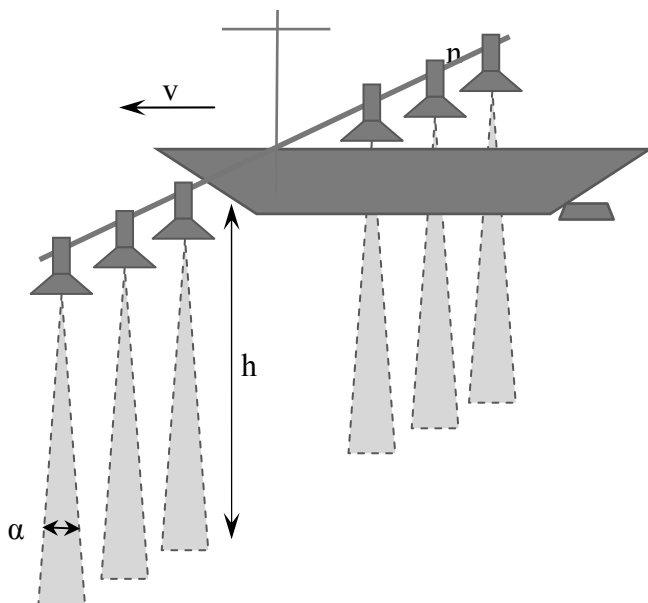


Рис. 1. Объединение профилографов в пространственную линейку

Экспериментальная проверка предложенной методики была проведена в Таманском заливе Краснодарского края в районе поселка Сенной. При этом использовалось два однотипных гидроакустических параметрических профилографа типа SeaKing DST PSBP с разностной частотой 20 кГц и диаграммой направленности около 4.5° [2–3], которые располагались на горизонтальной штанге, перпендикулярной направлению движения судна-носителя, на расстоянии 3 м друг от друга ($n=2$).

Глубина места в районе проведения работ составляла около 3 м, дно слагалось песчаными илами и было местами покрыто водорослями высотой до 1 м. Эксперименты проводились над полностью погребенной в толще дна кормой парохода начала XX века с паровой установкой шириной около 6 м и длиной около 25 м.

На рис. 2–3 представлены профилографические разрезы дна, полученные одновременно с двух разнесенных на 3 метра профилографов в районе кормы парохода. Здесь вертикальная сетка соответствует 10 секундным меткам, что при скорости профилирования около 1 м/с соответствует 10 м дистанции, а горизонтальная обозначает глубину относительно поверхности дна с шагом 1 м.

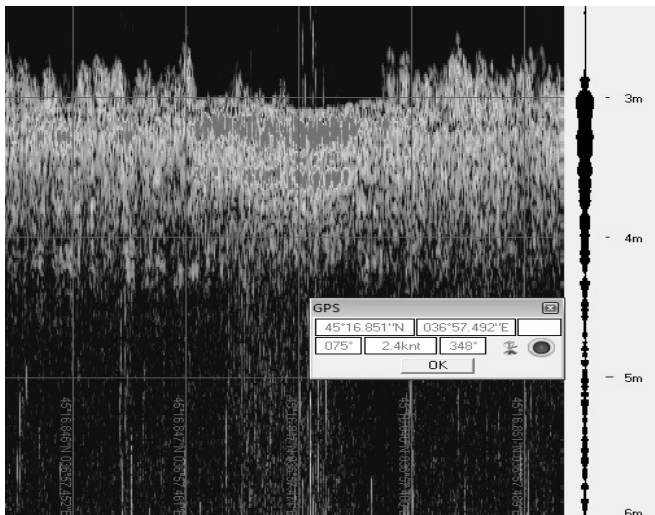


Рис. 2. Изображение парохода с основного профилографа

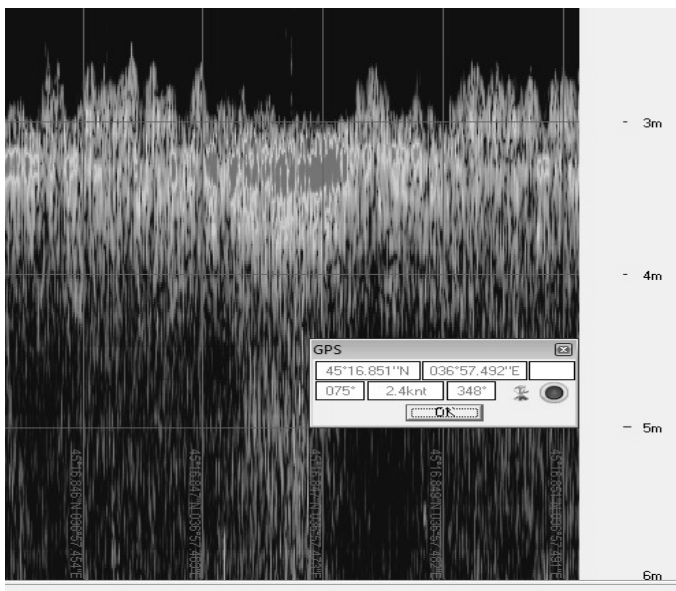


Рис. 3. Изображение парохода с дополнительного профилографа

На этих рисунках хорошо видны два профилографических разреза кормы парохода длиной около 10–15 м и высотой около 0.7 м, разнесенные на расстояние 3 м друг от друга. Следовательно, за один проход судна-носителя удалось получить два профилографических разреза, т.е. увеличить площадную производительность в два раза ($n=2$). При использовании n профилографов производительность увеличилась бы в n раз соответственно.

Таким образом, экспериментально подтверждена методика повышения площадной производительности гидроакустических параметрических профилографов за счет использования пространственной линейки из n профилографов, с непересекающимися диаграммами направленности, одновременно сканирующих донные структуры и объекты.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №0149-2014-0030, грантов РФФИ №15-06-02485 и №17-06-00318, а также Программы 46П фундаментальных исследований Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сычев В.А.** Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов / В.А. Сычев // Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». М., 2014. – С. 35–46.

2. **Клюев М.С., Ольховский С.В., Фазлуллин С.М., Сажнева А.Э., Евсеев Е.И., Шрейдер Ал.А.** О возможностях системы параметрического профилографа, эхолота и приемника ГЛОНАСС/GPS для комплексных исследований донных антропоценовых осадочных отложений // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Том V. М.: ГЕОС. 2015. С.132–136.

3. **Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А., Клюев М.С., Евсеев Е.И.** Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. – М.: ООО «Кватернион», 2016. № 2(6). С.156–161.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО ОБМЕНА ГИДРОБИОНТОВ В ПРОТОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Чербаджи И.И.¹, Звалинский В.И.²

¹Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток 690059; e-mail: тел: +79146782918 icherbadgy@mail.ru

²Тихоокеанский институт океанологии им. Ильичева ДВО РАН, Владивосток 690059; тел: +7422313092; e-mail: biomar@mail.ru

This paper presents a method for measuring the metabolism of macrophytes, microphytobenthos, periphyton, corals, and other benthic organisms in a continuous flow-through system in nonstationary and stationary states, as well as a mathematical justification of this method.

Известно, что любая живая система открыта и существует благодаря непрерывному притоку на входе и оттоку вещества и энергии на выходе. Однако большинство экспериментальных и математических моделей разработаны для измерений метаболизма и скорости роста популяций гидробионтов для замкнутых систем.

Возможности нестационарного метода существенно расширились после решения задачи, описывающей изменение концентраций растворённых соединений в непрерывных проточных системах (Propp et al. 1983). Последующее развитие измерения метаболизма при исследовании кинетики поглощения и/или выделения биогенных элементов потребовало усовершенствования метода непрерывных проточных систем (Чербаджи, Звалинский, 2013).

Было необходимо разработать количественный подход к описанию процессов фотосинтеза и дыхания в непрерывной проточной системе в нестационарном состоянии.

Количественное описание процессов в проточной системе

1. Условиями корректности приведенных ниже решений являются:
(а) неизменность концентраций веществ на входе хемостата $C_0 = const$;
(б) осуществление в хемостате перемешивание среды так, что концентрации метаболитов на выходе хемостата в любой момент времени t соответствуют их концентрациям в хемостате $C \equiv C^{chem}$.

В экспериментальной измерительной камере (хемостате) объемом w (l) находится образец массой m (g) со средним удельным метаболизмом M ($\mu mol g^{-1} h^{-1}$). Скорость изменения концентрации метаболита C (μM) в хемостате при протоке V (lh^{-1}) равна:

$$\frac{dC}{dt} = (C_0 - C) \times \frac{V}{w} + \frac{m \times M}{w}. \quad (1)$$

Разделяя переменные после интегрирования уравнения (1) за время экспозиции между двумя последовательными измерениями n и $n+1$ -го (в моменты времени t_n и t_{n+1}) получим:

$$\ln \left[\frac{C_0 - C_{n+1} + \frac{m \times M}{V}}{C_0 - C_n + \frac{m \times M}{V}} \right] = -\frac{V}{w} \times (t_{n+1} - t_n). \quad (2)$$

Здесь C_0 , C_n и C_{n+1} – концентрации вещества на выходе хемостата в моменты времени $t_0=0$ (соответствует C_0), t_n и t_{n+1} . Потенцируя и разрешая относительно метаболизма M , уравнение (2) примет вид:

$$M = \frac{V}{m} \times \left[\frac{C_{n+1} - C_n}{1 - \exp\left(-\frac{V}{w}(t_{n+1} - t_n)\right)} - (C_0 - C_n) \right]. \quad (3)$$

Как видно, точность измерения скорости метаболизма M при $(n+1)$ -ом измерении определяется точностью измерений удельной скорости обмена элементов в хемостате (на единицу массы) V/m , концентраций исследуемого метаболита на входе хемостата C_0 и на его выходе в моменты двух последовательных измерений C_n и C_{n+1} , характеристического времени обмена элементов в хемостате V/w и времени между двумя последовательными измерениями содержания метаболита на выходе хемостата $(t_{n+1} - t_n)$. Таким образом, точность измерений метаболизма определяется точностью измерений пяти параметров, три из которых контролируется экспериментатором (скорость обмена элементов в хемостате, характеристическое время хемостата и время между последовательными измерениями). Остальные два параметра определяются объектом исследований и параметрами среды. Это обстоятельство дает возможность экспериментатору выбрать необходимые параметры проточной системы для измерений с требуемой точностью, с одной стороны, и достаточно комфортными условиями для объекта исследований, – с другой.

В случае продолжительной экспозиции ($V/w \times t \geq 4$), получается стационарное решение, и результат измерений определяется разностью концентраций на входе и выходе хемостата:

$$M = \frac{V}{m} \times (C - C_0). \quad (4)$$

Практическая реализация метода

Экспериментальную установку экспонировали на палубе или на берегу в течение суток при естественной освещенности, которую изменяли при помощи нейтральных светофильтров так, чтобы она соответствовала проникающей через толщу воды в место обитания водорослей (рис. 1). В ночной период установка дополнительно затенялась темной тканью. Хемостаты и резервную емкость термостатировали проточной морской водой, отобранной вибрационным насосом из придонного слоя.

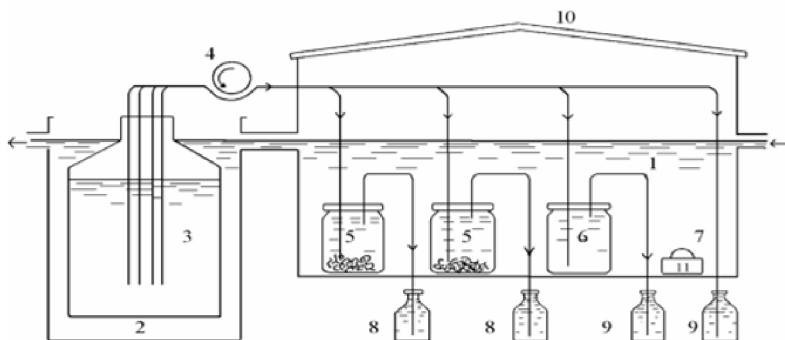


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения фотосинтеза, дыхания и обмена биогенных элементов между гидробионтами и средой. 1 и 2 – ванна и бак, термостатированные проточной морской водой; 3 – резервная емкость с фильтрованной морской водой; 4 – перистальтический насос; 5, 6 – экспериментальные и контрольные прозрачные сосуды (на рисунке показаны только 3 из 12 сосудов); 7 – подача исходной воды (C_0); 8, 9, – склянки для отбора проб воды для анализа; 10 – нейтральный светофильтр; 11 – фотометр

Отбор проб для анализа на кислород химическим методом (Винклера) и на биогенные элементы описан нами ранее (Чербаджи, Звалинский, 2013).

При анализе проб на кислород полярографическим методом к протоку подключали простое приспособление, которое позволяло проводить

периодическую и/или непрерывную регистрацию кислорода на выходе хемостата (рис. 2).

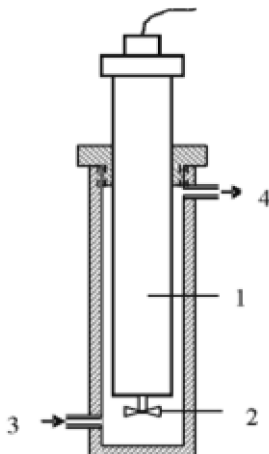


Рис. 2. Приспособление к проточной системе для анализа проб на кислород полярографическим методом. 1 и 2 – кислородный электрод и магнитная мешалка; 3 – приток воды; 4 – исток

Таким образом, основное преимущество непрерывных проточных систем заключается в том, что в них можно создать условия, соответствующие естественным на длительный период времени. В проточных системах число лимитирующих факторов при непрерывном обеспечении свежей водой существенно уменьшается (Martinez-Agaron et al., 2002; Чербаджи, Звалинский, 2013).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чербаджи И.И., Звалинский В.И.** Измерение метаболизма гидробионтов в непрерывных проточных системах: математическое обоснование и практическая реализация метода //Биология моря 2013. Том 39. № 4. С. 294–299.

2. **Martinez-Agaron J.F., Hernandez I., Perez-Llorens J.L., Vazquez R., Vergara J.J.**, 2002. Biofiltering efficiencies for dissolved inorganic phosphorus in three species of estuarine macroalgae cultivated with *Dicentrarchus labrax* L. waste waters. J. Appl. Phycol. 14, 365–374.

3. **Propp M.V., Garber M.R., Ryabushko V.J.**, 1982. Unstable processes in the metabolic rate measurement in flow-through system. Mar. Biol. 67, 47–51.

ПОВЕДЕНИЕ НАКЛОНОВ МОРСКОЙ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ ИМ. Ю. КОРЧАГИНА НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Ковачев С.А., Крылов А.А., Иванов В.Н., Тимашкевич Г.К.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
kovachev@ocean.ru*

The article presents the results of monitoring the inclination of the main deck of the marine oil platform Yu. Korchagin (Caspian Sea), the observations being performed since 2012.

На месторождении им. Ю. Корчагина (Северный Каспий, ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть») проводится непрерывный мониторинг наклонов главной палубы нефтедобывающей платформы с помощью системы, разработанной в ИО РАН [1]. Измерения наклонов по крену и дифференту производятся с помощью прецизионного наклономера AGS005-2SV1-НО-P8M фирмы FRABA POSITAL GmbH (Германия): диапазон измеряемых углов – $\pm 5^\circ$, цифровое разрешение – 0.001° , точность в диапазоне температур ($0 \dots +55^\circ\text{C}$) – $0,06^\circ$.

В большинстве случаев данные наклономера показывают минимальные изменения наклона, как по крену, так и по дифференту платформы. Однако в некоторые моменты наблюдаются резкие изменения наклона (рис. 1), а иногда плавные продолжительные колебания наклона (рис. 2).

На рис. 3 показан график поведения наклонов с июля 2012 г. по сентябрь 2016 г. График построен по осредненным данным (одночасовые осреднения).

Из рис. 3 видно, что тренды наклонов минимальны (синяя и красная прямые линии на рисунке). Т.е. изменения наклонов платформы по крену и дифференту за 4 года эксплуатации не превышают 0.015° .

Экстремумы на кривых крена и дифферента совпадают с самыми теплыми и самыми холодными месяцами в году: ноябрь-январь и июль-август. В тоже время в эти периоды уровень Каспийского моря минимален и максимален соответственно.

Возможно, годовая периодичность наклонов МЛСП по крену и дифференту связана с изменением уровня Каспийского моря.

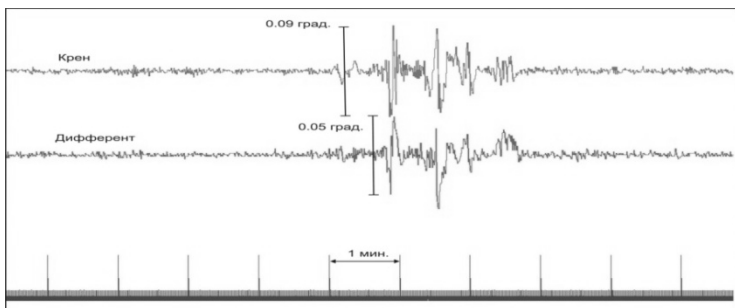


Рис. 1. Резкие изменения наклона по крену и дифференту главной палубы платформы им. Ю. Корчагина в июле 2016 г.

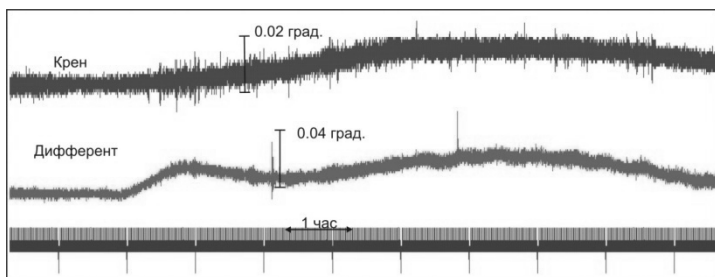


Рис. 2 Плавные изменения наклона по крену и дифференту главной палубы платформы им. Ю. Корчагина в июле 2016 г.

Были рассчитаны спектры наклонов по крену и дифференту за период наблюдений с 10 июля 2012 г. по 30 сентября 2016 г. (рис. 4).

На спектре наклонов по крену (рис. 4) отчетливо выделяются полусуточный и суточный максимумы, соответствующие лунным и солнечным приливным колебаниям в твердой Земле. (Возможно, в жидкой среде в соответствии с данными из работы [2]). Суточный и полусуточный максимумы заметны также на спектре наклонов по дифференту.

На обеих спектральных кривых обнаруживаются небольшие экстремумы на следующих периодах: 3.0, 4.0, 4.8, 6.0 и 8.0 час (рис. 5), наличие которых можно объяснить сейшми в Каспийском море в [2].

В работе [3] были обработаны годовые серии наблюдений за уровнем Каспийского моря в 7 пунктах на побережье; в результате выяснилось, что в Каспийском море достаточно надежно выделяются сейши с периодами 4.7; 3.1; 15.1; 8.1 часов.

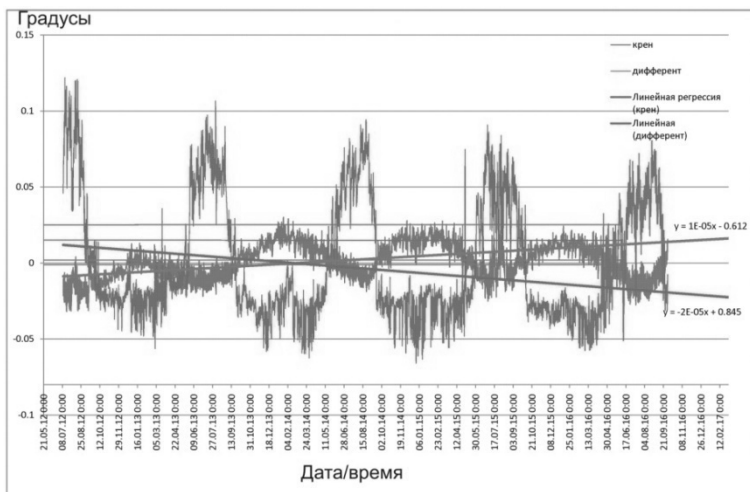


Рис. 3. Графики поведения наклонов палубы ЛСП-1 по крену и дифференту за период наблюдений с 10 июля 2012 г. по 30 сентября 2016 г. Осреднение по одночасовому интервалу

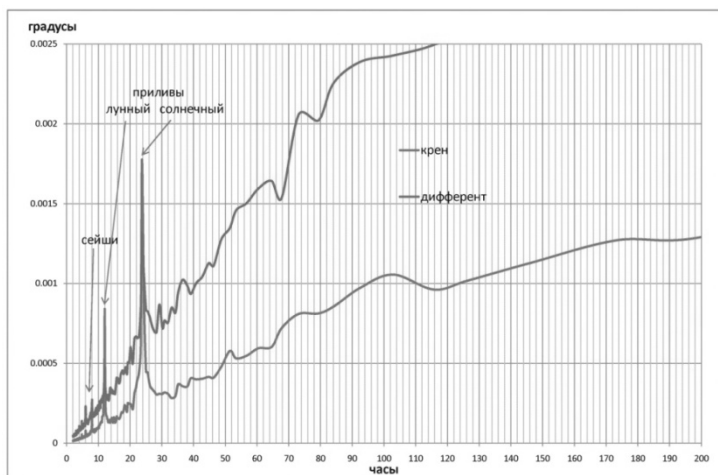


Рис. 4. Спектр наклона палубы ЛСП-1 по крену (синяя кривая) и дифференту (красная кривая) за период наблюдений с 10 июля 2012 г. по 30 сентября 2016 г.

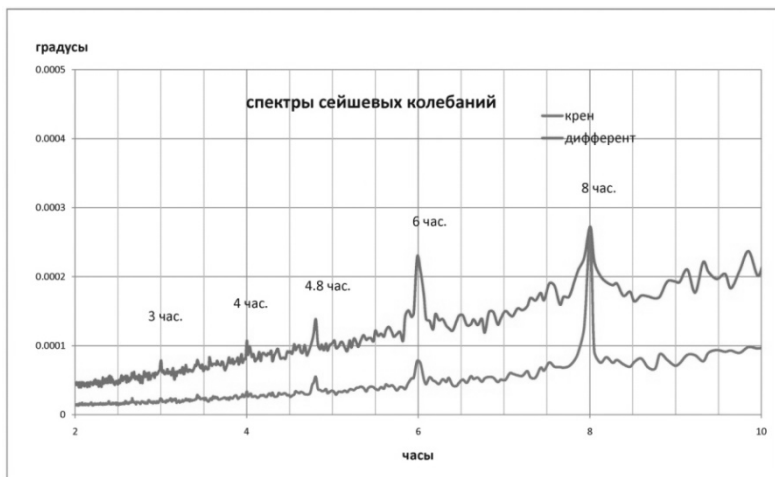


Рис. 5. Спектр наклона палубы ЛСП-1 по крену (синяя кривая) и дифференту (красная кривая) на периодах сейшевых колебаний уровня Каспийского моря

Три из четырех максимумов на спектрах наклонов МЛСП им. Ю. Корчагина (рис. 5) практически совпадают с результатами этих наблюдений. Спектры наклонов главной палубы платформы остаются стабильными в течение 4-х летнего периода наблюдений. Это свидетельствует об устойчивом поведении платформы на грунтовом основании за все время эксплуатации.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Грант № 14-50-00095) и ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобковский Л.И., Ковачев С.А. Система геодинамического мониторинга морского нефтегазодобычи на шельфе на примере морского нефтегазового месторождения имени Ю. Корчагина //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. №11, С. 11–14.
2. Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море: Экстремальные гидрологические события. М.:Наука, 2007. 381 с.
3. Лебянт А.С. Моделирование и расчет сейш с применением конформного отображения морских акваторий. Автореф. дисс. на соискание учен. ст. к. ф.-м.н. ГОИН. Москва. 1991.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ

Душенин Ю.В.

*НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ,
ул. Шевченко, 2, 347922, Ростовская обл., г Таганрог, 8(8634)39-30-75,
dyv-dsp@tgn.sfedu.ru*

The paper presents parametric antenna field at the bottom of the vertical sounding. Some characteristics of its fields in the water and in the sediments are calculated and experimentally obtained. Based on these results the fact of excitation, generation and distribution of the difference-frequency waves in the sediments is established.

Высокая эффективность применения параметрических профилографов для задач стратификации осадочных слоев и обнаружения заиленных объектов, обусловлена способностью параметрических антенн (ПА), входящих в состав их излучающих трактов, формировать высоконаправленное излучение на низких частотах при малых габаритах исходной излучающей антенны накачки в различных средах [1, 2].

Для ПА сама физическая среда «вода – донные осадки (ДО)» является «активным элементом» ПА и правомерно предположить зависимость ее характеристик от структуры ДО.

В предлагаемом докладе представлены результаты экспериментальных исследований характеристик поля создаваемого при вертикальном зондировании ПА в ДО. Приведено сравнение экспериментальных результатов с расчетами, выполненными на основании разработанной ранее модели [3].

В качестве ДО использовались глина и песок.

На рис. 1 показана схема работы ПА при вертикальном зондировании, когда граница раздела «вода – ДО» находится в области нелинейного взаимодействия исходных волн накачки.

Решение для расчета характеристик поля ПА в многофазной среде «вода – ДО» приведено в виде суммы трех слагаемых, каждое из которых представляет собой интегральное выражение [3]:

$$P_{-}(r, h, z) = P_{\text{пад}}(r, h) + P_{\text{пр}l}(r, z) + P_{\text{вн.обр}l}(r, z). \quad (1)$$

где $P_{\text{пад}}(r; h)$ – поведение поля ПА в воде, т.е. до границы раздела; $P_{\text{пр}l}(r; z)$ – поведение сформированной в воде волны разностной частоты (ВРЧ), прошедшей в осадки; $P_{\text{вн.обр}l}(r; z)$ – поведение поля ВРЧ, сформированной в осадках за счет взаимодействия прошедших в ДО волн накачки.

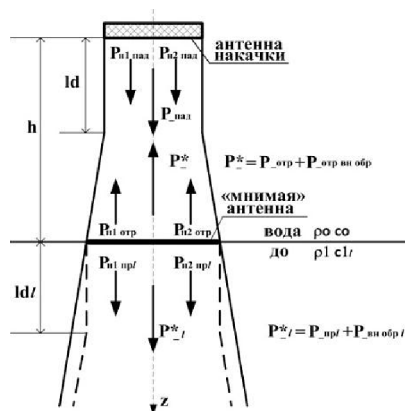


Рис. 1. Поле ПА при вертикальном зондировании дна

На основании уравнения (1) были произведены расчеты основных характеристик поля ПА в воде и в ДО.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном бассейне, в который по отдельности помещались глина и песок. Диапазон измеряемых ВРЧ составлял от 10 до 50 кГц. Центральная частота излучателя накачки – 250 кГц.

Распределения амплитуд ВРЧ на оси до границы раздела и после нее следует отнести к наиболее информативным характеристикам процесса нелинейного взаимодействия, позволяющим составить наиболее полную физическую картину особенностей формирования ВРЧ. Так, вначале были рассчитаны, а затем экспериментально получены осевые (ОР) и поперечные распределения (ПР) амплитуд звукового давления, а также амплитудно-частотные характеристики ВРЧ до границы раздела и после, приведенные на рис. 2–4.

Кривыми обозначены расчетные результаты, значками – экспериментальные. Из рис. 2 видно, что в ДО происходит генерация сигнала. Графики рис. 3 показывают, что в ПР традиционно для ПА при

работе в нелинейных средах, практически отсутствует боковое поле. Кроме того, с увеличением значений ВРЧ ширина ПР сужается.

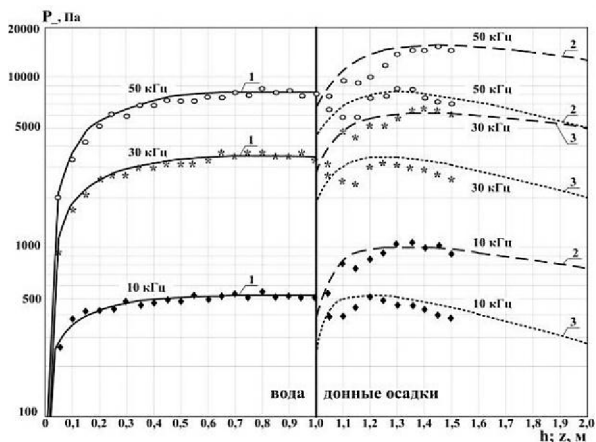


Рис. 2. ОР амплитуды звукового давления ВРЧ в воде и в ДО (1 – вода, 2 – глина, 3 – песок)

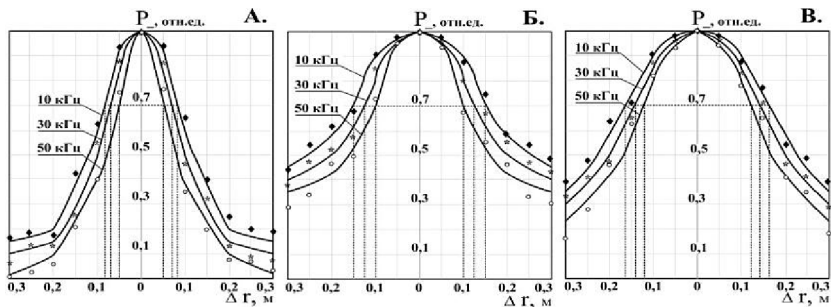


Рис. 3. Поперечное распределение звукового давления ВРЧ в воде и в ДО (А – вода, Б – глина, В – песок)

Получены расчетные и экспериментальные зависимости АЧХ в ДО, представленные на рис. 4, которые достаточно хорошо совпадают. Они демонстрируют приближенные квадратичные зависимости изменения уровней амплитуд давлений ВРЧ от частоты. Эффективность процессов взаимодействия в ДО, возрастает с увеличением ВРЧ, как и для воды.

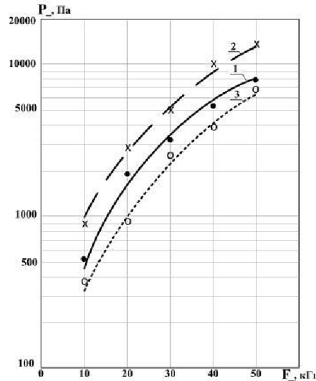


Рис. 4. АЧХ звукового давления ВРЧ в воде и в ДО
(1 – вода, 2 – глина, 3 – песок)

Таким образом, представленные теоретические и экспериментальные результаты основных характеристик ПА при вертикальном зондировании ДО дают хорошее совпадение, что подтверждает факт правильности выбора физической модели эффективного возбуждения, генерации и распространения продольных ВРЧ для случая вертикального прохождения акустических сигналов в ДО, а также показывает, что использование данного режима достаточно эффективно и может использоваться для стратификации ДО и обнаружения в них заиленных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – 264 с.
2. Душенин Ю.В., Рыбачек М.С. Возбуждение акустических волн параметрической излучающей антенной в неконсолидированных средах // Известия ТРТУ. Специальный выпуск. Матер. ХLI науч.-тех. конф. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. – № 1 (4). – С.114–118.
3. Гурский В.В., Душенин Ю.В. Исследование основных характеристик поля параметрической антенны в донных осадках при вертикальном падении пучка на границу раздела // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Экология 2013 – море и человек» – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 109–114.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Котельянец Е., А., Гуров К.И., Овсяный Е.И., Коновалов С.К.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

Findings of the water areas of Sevastopol bays (Sevastopol bay, Kazachiya bay, Balaklava bay) investigation are presented and particular physical-chemical characteristics of sediments are considered in this paper.

Донные отложения их формирование, характер накопления, распределение и состав отражают совокупность процессов, протекающих в морской экосистеме, как аккумуляторы и трансформаторы поступающего в водоем вещества. Они активно участвуют в общей системе круговорота веществ и энергии и влияют на формирование состава вод [1]. Бухты севастопольского региона (рис.1) относятся к прибрежным акваториям с ограниченным водообменом и высоким уровнем антропогенной нагрузки.

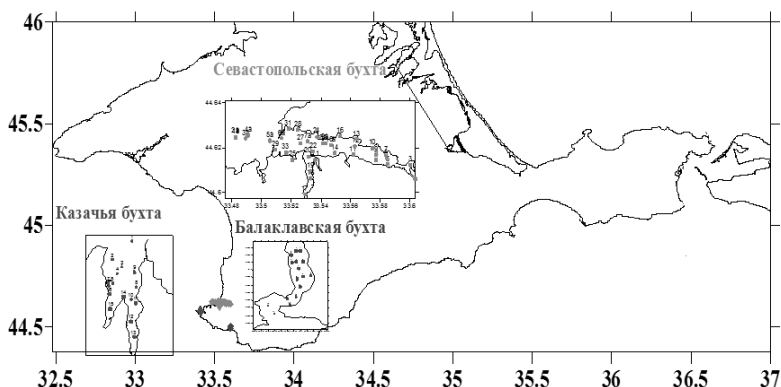


Рис. 1. Районы работ и расположение станций отбора проб донных осадков

Прибрежные территории сева­сто­польских бухт относятся к числу урбани­зи­ро­ван­ных, с раз­ви­той ин­фра­струк­ту­рой и ока­зы­ва­ют на мор­скую сре­ду ком­плек­сное воз­дей­ствие, спо­соб­ствуя по­ступ­ле­нию в при­бреж­ные рай­оны сме­шан­но­го ор­га­ни­че­ско­го за­гряз­не­ния – ор­га­ни­че­ско­го ве­ще­ства хо­зяй­ствен­но-бы­то­во­го про­ис­хо­жде­ния, стой­ких ор­га­ни­че­ских со­еди­не­ний.

Ан­тро­по­ген­ное воз­дей­ствие на при­бреж­но-мор­скую экосис­те­му со­про­во­ж­да­ется на­коп­ле­нием ор­га­ни­че­ских ве­ществ в дон­ных от­ло­же­ни­ях, на­ру­ше­нием ус­той­чи­во­го раз­ви­тия про­цес­сов са­мо­очи­ще­ния мор­ской сре­ды и ак­ку­му­ли­ро­ва­нием за­гряз­ня­ю­щих ве­ществ, в том чис­ле тя­же­лых ме­тал­лов в тол­ще дон­ных от­ло­же­ний, что спо­соб­ствует фор­ми­ро­ва­нию ус­той­чи­вых тех­но­ген­ных аномалий, со­от­вет­ст­вую­щих ар­е­алам эко­ло­гичес­ко­го рис­ка для бен­то­сных со­об­ществ и ве­ро­ят­но­го вто­рич­но­го за­гряз­не­ния.

На­и­бо­лее вы­со­кие зна­че­ния на­коп­ле­ния ха­рак­тер­ны для ак­ва­то­рий с за­труд­нен­ным водо­об­ме­ном и дли­тель­ной ан­тро­по­ген­ной на­груз­кой (Се­ва­сто­поль­ская бух­та, Ба­ла­клав­ская бух­та, Ка­зачья бух­та), хо­тя на­блю­де­ния по­след­них лет сви­де­тель­ст­вую­ют об из­быт­ке ор­га­ни­че­ско­го ве­ще­ства и в не­ко­то­рых от­кры­тых ак­ва­то­ри­ях (Кер­чен­ский про­лив).

Важ­ной фи­зи­че­ской ха­рак­те­ри­сти­кой дон­ных осад­ков яв­ля­ют­ся их гра­ну­ло­мет­ри­че­ский со­став. Раз­ме­ры час­тиц осад­ка яв­ля­ют­ся од­ним из оп­ре­де­ля­ю­щих фак­то­ров, влия­ю­щих на их ад­сор­б­ци­он­ную и дес­ор­б­ци­он­ную спо­соб­ность [2].

Со­дер­жа­ние ор­га­ни­че­ско­го ве­ще­ства яв­ля­ет­ся од­ним из ос­нов­ных фак­то­ров, оп­ре­де­ля­ю­щих про­те­ка­ние био­гео­хи­ми­че­ских про­цес­сов и влия­ю­щих на из­ме­не­ние окис­ли­тель­но-вос­ста­но­ви­тель­ных ус­ло­вий, со­дер­жа­ние и пе­ре­рас­пре­де­ле­ние раз­лич­ных за­гряз­ня­ю­щих ве­ществ, вклю­чая тя­же­лые ме­тал­лы. Из­бы­точ­ное на­коп­ле­ние в мор­ской сре­де при­бреж­ных ак­ва­то­рий ор­га­ни­че­ских со­еди­не­ний при­во­дит к из­ме­не­нию струк­тур­ных ха­рак­те­ри­стик мак­ро­бен­то­са – сок­ра­ще­нию био­раз­но­об­ра­зия ви­дов, из­ме­не­нию их об­и­лия.

В дан­ной ра­бо­те на при­ме­ре бухт се­ва­сто­поль­ско­го ре­ги­она (Се­ва­сто­поль­ская, Ба­ла­клав­ская, Ка­зачья) рас­смот­ре­ны осо­бен­но­сти фи­зи­ко-хи­ми­че­ских ха­рак­те­ри­стик дон­ных от­ло­же­ний.

Ана­лиз ко­личес­твен­ных ха­рак­те­ри­стик гра­ну­ло­мет­ри­че­ско­го со­ста­ва и осо­бен­но­стей про­стран­ствен­но­го рас­пре­де­ле­ния фрак­ций дон­ных осад­ков в бух­тах се­ва­сто­поль­ско­го ре­ги­она по­ка­зал, что за по­след­ние де­сять лет от­ме­ча­ет­ся уве­ли­че­ние до­ли мел­ко­дис­пер­сно­го ма­те­ри­ала, а об­ла­сти его на­коп­ле­ния тя­го­те­ют к мес­там ак­тив­но­го ан­тро­по­ген­но­го ос­во­е­ния при­бреж­ных тер­ри­то­рий.

Отличительной особенностью эволюции гранулометрического состава донных отложений акватории бухты Казачьей за последние десятилетия является накопление илистых фракций в кутовой части. Здесь содержание мелкозернистого материала достигает максимальных значений (60–63%). Увеличение антропогенной нагрузки на экосистему акватории, в большей степени за счет использования бухты для рекреации привело к резкому увеличению содержания органического углерода в донных отложениях. По сравнению с данными 2002 года среднее содержание органического углерода возросло в 1,5 раза, а в южной части бассейна в 7,5 раз.

Содержание илистого материала в отложениях Балаклавской бухты в среднем по всем пробам увеличилось с 58,2 до 65,9%, а мелкодисперсный материал по-прежнему сосредоточен в западной и северо-западной частях северной акватории. Тем не менее, проведенный сравнительный анализ результатов исследования содержания органического углерода в пробах, отобранных в 2005 и 2015 гг. показал тенденцию к снижению накопления органического вещества. По-видимому, это обуславливается уменьшением антропогенной нагрузки на акваторию.

Фракционный состав донных осадков Южной бухты за последнее десятилетие также заметно изменился. В работе [3] доля мелкодисперсного материала изменялась от 30-50% в северной и центральной частях акватории до 60 % в кутовой части бухты. Уже через несколько лет [2] доля алеврито-пелитовых илов возросла в отложениях Южной бухты до 70-75%, однако далее повышение доли илистого материала прекратилось. Пробы, отобранные в 2008 году, показали, что содержание мелкозернистого материала по-прежнему изменяется в диапазоне 70–76%.

Данные гранулометрического анализа донных осадков Южной бухты, полученные в 2015 году, указывают на увеличение доли мелкодисперсных фракций. Максимальные значения доли алеврито-пелитовых илов теперь расположены в кутовой и центральной частях акватории и находятся в диапазоне 70–80%. В северной же части бухты, содержание мелкозернистого материала уменьшилось до 50–70%.

Содержание и распределение тяжелых металлов в донных осадках зависит от ряда факторов. К ним относятся, прежде всего, физико-географические и геохимические свойства акватории, уровень антропогенной нагрузки, характер и распределение источников загрязнения, а также океанографические свойства акватории.

Содержание металлов As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr (мг/кг) и оксидов металлов TiO₂, MnO, Fe₂O₃ в донных отложениях определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Выполненные исследования в акватории Казачьей бухты позволили установить, что мелкодисперсные осадки содержали тяжелых металлов практически на порядок больше, чем крупнодисперсные. Содержание в них органического углерода, карбоната кальция и тяжелых металлов определяется наличием и протяженностью площадей мелкодисперсных фракций. В целом состояние бухты вряд ли можно назвать благополучным. Ряд металлов (Ti, Cu, Zn, Cr, Co и Pb) присутствует в донных осадках в концентрациях превышающих природные.

Загрязнение донные отложений Балаклавской бухты металлами носит полиэлементный характер и определяется, прежде всего, такими металлами как свинец, хром, цинк, медь, мышьяк, стронций. Были определены особенности изменения содержания исследованных элементов и локализация их поступлений в экосистему. Максимальные концентрации металлов (As, Cr, Cu, Pb, Zn) наблюдаются вблизи локальных источников загрязнения.

В донных отложениях Севастопольской бухты представлены наиболее характерные особенности пространственного распределения металлов, органического углерода, карбоната кальция и гранулометрического состава.

Установлено, что донные отложения Севастопольской бухты с преобладанием в основном составе органического углерода интенсивно накапливают цинк, при преобладании в основном составе карбоната кальция, интенсивно накапливают мышьяк, а мелкодисперсные фракции – активно концентрируют никель.

Работа выполнена в Морском гидрофизическом институте РАН в рамках госзадания НИОКР № 115062410072 «Фундаментальная океанология».

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И., Пасынков А.А., Степаняк Ю.Д., Шнюкова Е.Е. Геоэкология Черноморского шельфа Украины. – Киев: Академперіодика, 2004.- 143 с.
2. Романов А.С., Орехова Н.А., Игнатъева О.Г. и др. Влияние физико-химических характеристики донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Черное море) // Экология моря, 2007. Вып. 73. С. 85–90.
3. Овсяный Е.И., Романов А.С., Игнатъева О. Г. Распределение тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков Севастопольской Бухты (Черное море) // Морской экологический журнал. – 2003. 2, №2. С.85–101.

ПРОГНОЗ СТРУКТУРЫ И СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ МАССИВА ПОРОД В ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ БЕРЕГ–МОРЕ

Черников Г.А.¹, Либина Н.В.²

¹*Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Крюковский; туп., д.4, 111020, г.Москва, 8(495)360-8960
AGChernikov@mail.ru*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-47
lnatvit@mail.ru*

The probabilistic forecasting method and the construction of high-speed 3D models from digital data vulgar is offered. The calculation can be made for areas with difficult terrain, remote areas and in border areas "shore-to-sea".

Проведение геофизических работ на мелководье, в районах со сложным рельефом сопряжено с серьезными проблемами. Переходные зоны между сушей и водой всегда требуют специального оборудования, особого подхода при проведении сейсмических исследований, дополнительной существенной проблемой является стыковка данных, полученных на суше и на акватории традиционными методиками сейсморазведки.

Предлагается метод вероятностного прогноза и построения 3D скоростной модели исследуемого района, в том числе в зонах суша-море. Для обеспечения многофакторного, нелинейного, динамического прогнозирования и моделирования строения и свойств геологической среды, как наиболее перспективный, был избран математический аппарат Марковских процессов [1].

В качестве исходных данных используются топографические и батиметрические цифровые модели рельефа. Так для построения трехмерных моделей использовалась цифровая модель рельефа GEBCO.

Расчет осуществляется путем выполнения компьютерного анализа числовых последовательностей градиента значений отметок батиметрии или рельефа, измеренных в двух окнах, в которых эти величины преобразуются в значения переходных вероятностей случайной марковской последовательности. Цифровая модель исследуемого участка используется для расчета как единая система изменения формы рельефа. Обработка всего участка выполняется по единому алгоритму скользящим окном по береговой и морской части непрерывно. Несмотря на разнооб-

разие геолого-структурного строения береговых и морских участков, объект рассматривается как единая система, нелинейные переходы между элементами которой описываются и учитываются в расчётах за счет применения математического аппарата марковских процессов. Соответственно и транзитные зоны суша-море при расчете не выделяется в отдельные объекты моделирования.

Глубину зондирования и детальность прогноза определяют следующие факторы: ширина окна сканирования (количество точек в исследуемой последовательности); шаг наблюдения (расстояние между точками); число определенных на шкале глубин состояний (аналог частоты зондирования).

Полученные значения изменчивости марковских свойств пересчитываются в параметры петрофизических свойств по априорной информации об акустических и (или) плотностных свойствах среды. Для этого используется метод многомерного регрессионного анализа, с помощью которого были рассчитаны номограммы (цифровые палетки) преобразования марковских характеристик среды в петрофизические параметры. Далее, по рассчитанному массиву, при помощи программы, использующей алгоритм N -мерного марковского моделирования, создается 3D модель. В основном все полученные трехмерные модели пересчитывались в значения кажущейся скорости звука. Визуализация модели осуществляется в виде набора ортогональных разрезов моделируемого геологического объекта.

Применение вышеописанного метода для моделирования строения районов, включающих зоны перехода берег-море показано на рис. 1 и рис. 2, где представлены скоростные разрезы и слайсы, полученные по рассчитанной 3D модели представленного на карте Охотно-морского региона.

Для реализации решаемых методом задач создан и опробован программно-методический комплекс.

Предлагаемый метод позволяет оперативно выполнить предварительный анализ глубинного строения еще неисследованных и труднодоступных районов; создать петрофизические 3D модели по площадным данным, выявить зоны структурных нарушений. Расчет может быть выполнен для районов со сложным рельефом и в пограничных зонах «берег-море».

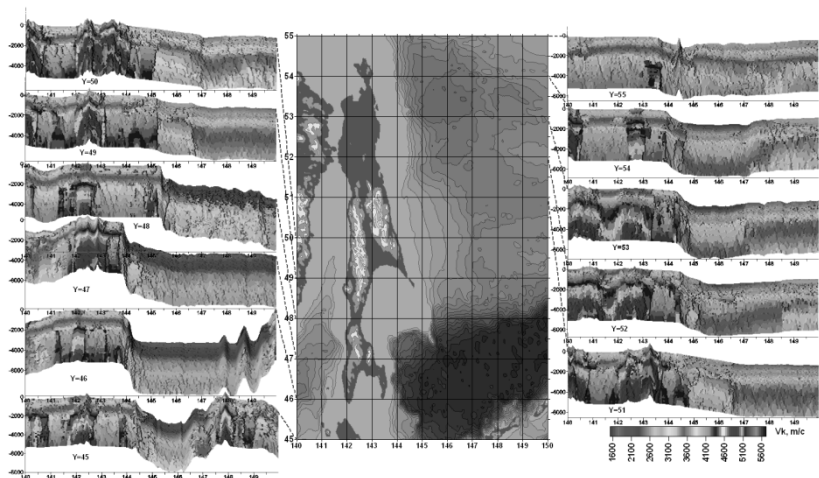


Рис. 1. Карта и скоростные 3D разрезы транзитной зоны шельфа Охотского моря в районе Татарского пролива и острова Сахалин

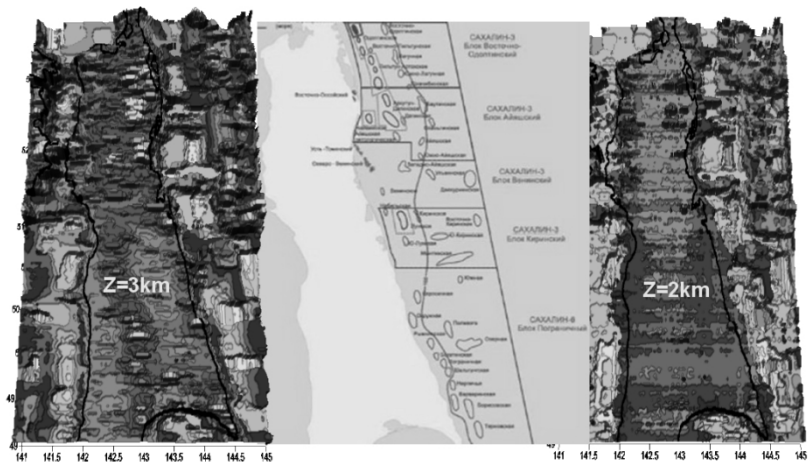


Рис. 2. Глубинные срезы скоростной 3D модели острова Сахалин и его шельфа в сопоставлении со схемой нефтегазоносности региона

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вистелиус А.Б.** Основы математической геологии. Л. Наука, 1980. 389 с.
2. **Черников А.Г., Либина Н.В., Матушкин М.Б.** Патент на изобретение «Способ выявления внутренних неоднородностей Земли», №2293361, 2004 г. (Приоритет от 30.12.2004. Выдан 14.07.2006).
3. **Черников А.Г., Матушкин М.Б., Либина Н.В.** Изучение внутреннего строения Земли на основе марковского анализа гипсометрии ее поверхности // Разведка и охрана недр. 2001. № 2. С. 57–59.
4. **Черников А.Г., Либина Н.В.** Использование марковской гипсометрии при геологических исследованиях в океанологии // Океанология, 2011. Том 51. №3. С. 561–565.

УДК 681.88

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА РАБОТУ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Бородин М.А.

*Кировский филиал АО “Концерн ”Океанприбор”,
187341, г. Кировск, Ленинградская область, ул. Северная, дом 1Г,
8(81362) 24-405, boroda84@gmail.com*

The analysis of noise influence on multibeam echosounder in Arctic conditions is presented.

В сентябре 2009г Совет Безопасности РФ обозначил ключевые направления обеспечения национальных интересов и безопасности в Арктике, в числе которых освоение природных ресурсов данного региона. Одной из важных задач, требующих решения для успешной реализации государственной стратегии в освоении арктического региона, является создание средств обследования поверхности дна с учетом специфики Арктики, а также технологий их использования. В настоящее время разработаны различные гидроакустические средства для обследования поверхности дна, в том числе и многолучевой эхолот (МЛЭ), предназначенный для батиметрической съемки рельефа дна, а также для поиска расплывшихся на дне объектов.

По решению Правительства РФ в 2010-2012г в Северно-Ледовитом океане проводились экспедиционные работы с целью выполнения батиметрической съемки по стандарту S-44 Международной Гидрографической организации. Для проведения работ использовалось научно-экспедиционное судно (НЭС) усиленного ледового класса «Академик Федоров», на котором был установлен МЛЭ EM-122 фирмы Kongsberg с рабочей частотой 12 кГц и диапазоном оценки глубин от 20 до 11000 м [1].

В ходе проведения съемки рельефа дна в Арктике, особенно при движении судна без прокладки канала впереди идущим ледоколом, существенное влияние оказали ледовые условия, состояние моря и скорость движения судна, что выражалось в нерегулярных потерях и ухудшении качества батиметрических данных, а также в сужении полосы обзора МЛЭ [1]. Пример негативного влияния указанных факторов показан на рисунке 1. В правой верхней части рисунка 1а показана траектория движения НЭС и формируемая цифровая модель рельефа дна, содержащая пропуски. Была экспериментально подтверждена возможность самостоятельного выполнения батиметрической съемки рельефа дна НЭС «Академик Федоров» в сплоченных льдах при скоростях хода, не превышающих 3 узла [1].

Учитывая специфику района проведения работ причинами снижения значений отношения «сигнал/помеха», выражающимися в ухудшении качества работы МЛЭ в ледовой обстановке, являются:

- помеха, обусловленная подледными акустическими шумами, естественных процессов на ледовой поверхности (таяние, разрушение и движение льда);

- помеха, обусловленная собственными акустическими шумами судна (гребных винтов, машин и вспомогательных механизмов), нелинейно возрастающими при увеличении скорости хода;

- помеха, обусловленная акустическими шумами разрушения льда корпусом судна.

Уровень подледных шумов (зависимость 5 на рис. 2а) сопоставим с уровнем реверберации от водной поверхности, свободной ото льда (семейство зависимостей 3 на рис. 2а). Спектр собственных акустических шумов судна-носителя определяется его конструкцией и типом движителя, измеряется перед вводом его в эксплуатацию и является известным. На рис. 2б показаны типовые спектры собственных акустических шумов судов различных классов.

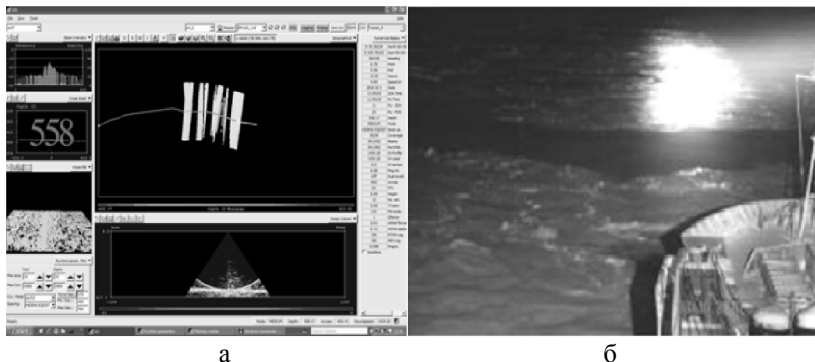


Рис. 1. Кадр программного обеспечения МЛЭ EM-122 при выполнении съемки рельефа дна и фотография ледовой обстановки впереди по курсу судна [1]

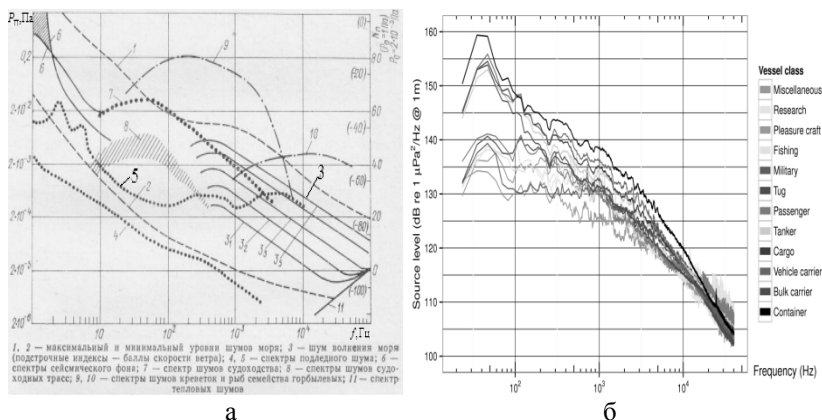


Рис. 2. Частотная зависимость уровня акустических подводных шумов, динамических шумов моря [2] и собственных акустических шумов носителей различных классов [3]

На уровень акустических шумов, сопровождающих разрушение льда корпусом судна, согласно [4] влияет тип ледового покрова, а также скорость движения судна. На рис. 4 показана частотная зависимость уровня акустического шума, сопровождающего разрушение льда корпусом судна, полученная в [5]. Анализ зависимости на рис.4, а также сведений, представленных в [4], выявил общую тенденцию убывания уровня ука-

занных шумов с ростом частоты, а разница между уровнем шумов при движении судна по свободной от льда водной поверхности и при движении судна в полях многолетнего льда составляет порядка 20–30 дБ [4].

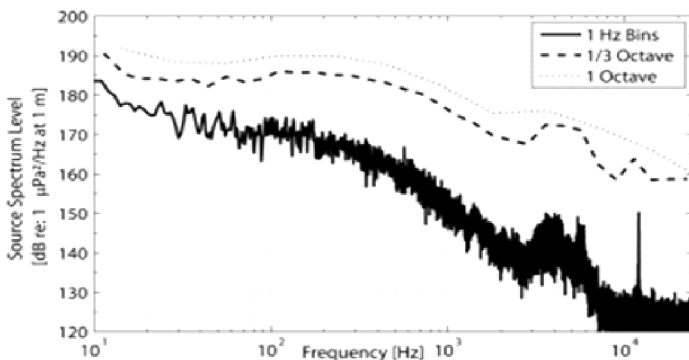


Рис. 3. Частотная зависимость уровня шума, обусловленного разрушением льда корпусом судна [5]

Таким образом, важным фактором, определяющим работу МЛЭ в ледовых условиях наряду со скоростью движения судна-носителя, является рабочая частота МЛЭ, на которой уровень шумов, характерных для ледовой обстановки, должен быть минимальным.

Глубины моря в Арктических районах лежат в диапазоне 250–3000 м, поэтому оптимальная рабочая частота гидролокатора будет выше рабочей частоты МЛЭ ЕМ-122 равной 12 кГц.

Следует отметить, что съемка рельефа дна в сложных помеховых условиях требует использования специализированных алгоритмов определения глубины дна, а также ручной регулировки параметров МЛЭ для обеспечения заданного отношения «сигнал/помеха+шум» в полосе обзора МЛЭ. Для упрощения работы оператора в МЛЭ ЕМ-122 процесс получения данных во многом автоматизирован, однако в сложной помеховой обстановке требуется ручное управление квалифицированным оператором.

В Кировском филиале АО «Концерн «Океанприбор» разработан опытный образец МЛЭ «Корвет-МЛЭ-250», приспособленный для работы в арктических условиях, его характеристики представлены на сайте www.oceanpribor.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ставров К.Г.** и др. Возможность получения качественной информации многлучевым эхолотом EM-122 в ледовых условиях // Навигация и гидрография, 2011. Вып. 32. С.43–49.
2. **Евтютов А.П., Митько В.Б.** Примеры инженерных расчетов в гидроакустике. Л.: Судостроение, 1981. 256 с.
3. **Veirs S., Veirs L., Wood J.D.** Ship noise extends to frequencies used for echolocation by endangered killer whales // Peer J, 2016. P.1–35.
4. **Roth E.H. et al.** Underwater radiated noise levels of a research ice-breaker in the central Arctic Ocean // J. Acoust. Soc. Am., 2013. Vol. 133. P.1971–1980.
5. **Богородский В.В., Гаврило В.П.** Шумы, сопровождающие разрушение льда корпусом ледокола // Акустический журнал, 1979. Вып.1. Т.25. С. 135–136.

УДК 681.787

РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИМИ СЕЙСМОПРИЕМНИКАМИ

Каменев О.Т., Кульчин Ю.Н., Петров Ю.С., Колчинский В.А.

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
Ул. Радио, 5, 690041, г. Владивосток, 8(423)2310439,
director@iacp.dvo.ru*

The possibility of detection of weak seismic waves in sea-ground interface by fiber-optic vertical accelerometer and horizontal strainmeter is demonstrated.

В любом сейсмоприемнике регистрация сейсмосигналов в конечном счете сводится к регистрации смещений точек поверхности, на которой он установлен. Оптическая интерферометрия является одним из наиболее чувствительных методов регистрации смещений [1]. Чувствительность интерферометра ограничена уровнем шумов фотодетектора и может быть чрезвычайно высокой: теоретически достижимый уровень чувствительности к перемещениям составляет величину порядка $1,1 \times 10^{-16}$ м/Гц^{1/2} для оптического излучения мощностью 10 мВт и дли-

ной волны 500 нм [2]. Применение для построения интерферометра волоконно-оптической элементной базы обеспечивает возможность создания компактных высокочувствительных сейсмоприемников. Дополнительное увеличение чувствительности волоконно-оптических интерферометрических датчиков может быть обеспечено за счет применения многовиткового чувствительного элемента [3, 4]. Среди существующих интерферометрических схем на волоконно-оптической элементной базе наиболее просто реализуется двухплечевой интерферометр Маха-Цендера. Именно этой схеме было отдано предпочтение при создании волоконно-оптических приемников слабых сейсмосигналов [5, 6].

Созданный макет измерительной системы содержит два сейсмоприемника: вертикальный инерциальный акселерометр (рис. 1 а) и горизонтальный деформометр (рис. 1 б).

В квадратурном режиме работы рабочая точка интерферометра находится на линейном участке передаточной характеристики. В этом случае в вертикальном сейсмоприемнике при регистрации вертикальных колебаний поверхности амплитуда колебаний напряжения на выходе фотоприемника прямо пропорциональна амплитуде сейсмоускорения. Таким образом, вертикальный сейсмоприемник является акселерометром. Пороговая чувствительность вертикального сейсмоприемника равна 10^{-7} м/с². В горизонтальном сейсмоприемнике напряжение на выходе прямо пропорционально изменению расстояния между точками закрепления. Таким образом, горизонтальный сейсмоприемник является деформометром. Его пороговая чувствительность составляет 10^{-9} м.

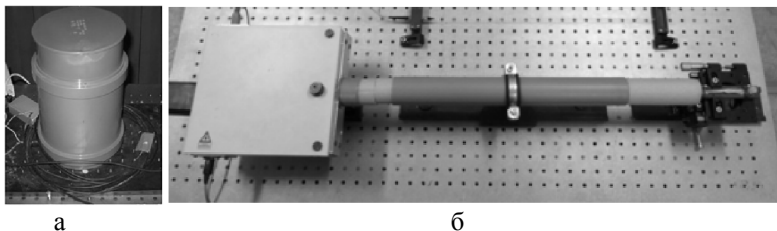


Рис. 1. Волоконно-оптические сейсмоприемники на основе интерферометра Маха-Цендера: вертикальный (а) и горизонтальный (б)

Для проверки возможности регистрации слабых сейсмосигналов были проведены полевые испытания разработанных сейсмоприемников по наземной регистрации сейсмосигналов, формируемых низкочастотным гидроакустическим излучателем на частоте 22 Гц. Излучатель опускался

ся в воду с борта стоявшего на якорю судна на расстоянии 2 км от сейсмоприемников и на расстоянии 10 км. Волоконно-оптические сейсмоприемники развертывались в подвале дома, расположенного на прибрежной скале, на высоте 50 м от уровня моря.

На рис. 2 представлены полученные в результате проведенных испытаний спектрограммы выходных сигналов вертикального (а) и горизонтального (б) волоконно-оптических сейсмоприемников. На спектрограммах видны треки сейсмосигналов, формируемых гидроакустическим излучателем на расстоянии 2 км (метка 1) и на расстоянии 10 км (метка 2).

Как видно из рисунка, высокая чувствительность обеспечивает возможность регистрации обоими сейсмоприемниками сейсмосигнала, формируемого в земной коре гидроакустическим излучателем.

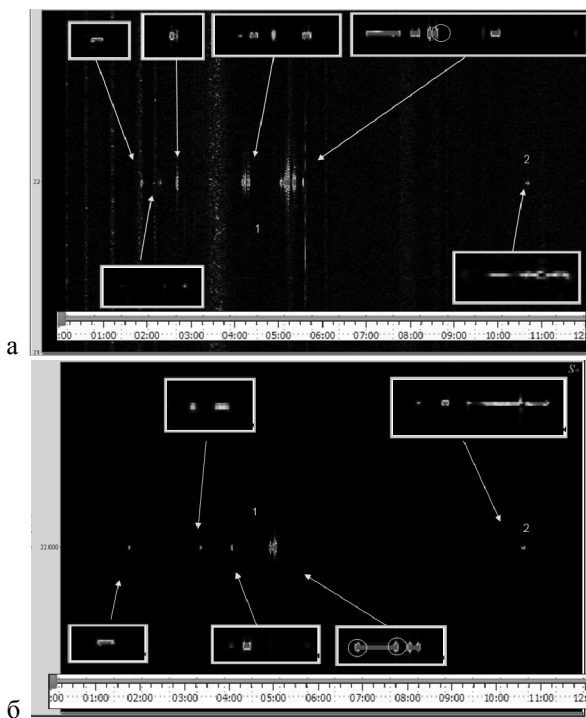


Рис. 2. Спектрограммы выходных сигналов вертикального (а) и горизонтального (б) волоконно-оптических сейсмоприемников

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-29-0208216 и № 16-05-00750.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Hariharan, P.** Optical interferometry // Rep. Prog. Physics. 1990. Vol.54. P. 339–390.
2. **Wagner, J.W.** Theoretical noise-limited sensitivity of classical interferometry / J.W. Wagner, J.B. Spicer // J. Opt. Soc. Am. B. – 1987. Vol. 4. – P. 1316–1326.
3. **Garcia-Souto J. A.** Comparative analysis of optical-fibre interferometric sensors versus accelerometers: application to vibrations inside high-power transformers / J. A. Garcia-Souto, H. Lamela-Rivera // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2002. – Vol. 4. – P. S318–S326.
4. **Gardner D. L.** A fiber-optic interferometric seismometer / D. L. Gardner, T. Hofler, S. R. Baker, R. K. Yarber, S. L. Garrett // J. Lightwave Tech. – 1987. – Vol.5, № 7. – P. 953–960.
5. **Kamenev O.T.** Use of a fiber-optic Mach-Zehnder interferometer for creating a deformometer with extended gage length / O.T. Kamenev, Yu.N. Kulchin, Yu.S. Petrov, R.V. Khizhnyak // Technical Physics Letters. – 2014. – Vol. 40, № 2. – P. 119–122.
6. **Kamenev O.T.** Fiber-optic seismometer on the basis of Mach-Zehnder interferometer / O.T. Kamenev, Yu.N. Kulchin, Yu.S. Petrov, R.V. Khizhnyak, R.V. Romashko // Sensors and Actuators A. – 2016. – Vol. 244. – P. 133–137.

УДК 528.48

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА НАДВОДНОЙ ЧАСТИ ЛЕДЯНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ликутов П.Е., Морозов А.В.

*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8(499)246-70-89,
petr.likutov@gmail.com*

Paper considers the possibility of using a ground based 3D scanner for surveying a relief of an ice body sail; describes the

conditions ensuring the survey on the fast and drifting ice; describes methods of surveying; analyzes the potential problems arising during the process, and suggests ways to solve them.

В работе рассматривается возможность использования технологии наземного лазерного сканирования для съемки рельефа надводной части ледяного образования; приводится описание условий, обеспечивающих съемку припайного и дрейфующего льда; излагается методика съемочных работ; проводится анализ возможных проблем, возникающих при съемке, и предлагаются пути их решения.

Технология наземного лазерного сканирования используется в геодезии для производства топографических съемок и построения трехмерных моделей местности или отдельных объектов.

Задача наиболее точного описания рельефа надводной части ледяного образования (ЛО) решается обычно методом тахеометрической съемки. Если ЛО имеет области торошения, то съемка в условиях ее оперативного производства на дрейфующем льду не всегда позволяет описать рельеф надводной части ЛО с необходимой степенью подробности. Для съемки в таком случае применяется технология наземного лазерного сканирования (НЛС).

Суть НЛС заключается в получении с помощью лазерного сканера массива точек лазерных отражений (ТЛО), описывающих исследуемую поверхность с необходимой степенью подробности [1]. ТЛО представляет собой файл, в котором каждая строка описывает характеристики одной точки: пространственные координаты (x , y , z), интенсивность и пр. Применительно к съемке дрейфующего льда термин НЛС используется как устоявшийся, тогда как съемка производится не с поверхности земли, а с поверхности дрейфующего ЛО. НЛС позволяет получить 12000 точек в секунду с субдециметровым разрешением. Предельная дальность съемки составляет 300 м. Для получения данных, описывающих рельеф надводной части ЛО с необходимой степенью подробности, сканер следует располагать на расстоянии 10–100 м от объекта. Стоит отметить, что дальность съемки лазерным сканером в соответствии с паспортом обычно в два раза превышает указанную. Снижение дальности съемки при сканировании ЛО связано с низкими отражающими свойствами поверхности снега и льда. От поверхности бесснежного, гладкого и чистого льда отражение не формируется. Описанные выше характеристики справедливы для лазерного сканера RIEGL LMS-Z420i.

Характер поверхности ЛО в зоне торошения не позволяет получить полную информацию о поверхности ЛО на основании ТЛО, полученных

при установке лазерного сканера в одной точке (с одной скан-позиции). В таком случае съемка ЛО производится с нескольких скан-позиций, на каждую из которых прибор устанавливается последовательно.

Увязка ТЛО, полученных с каждой из скан-позиций, в единый массив ТЛО происходит благодаря наличию общих точек или общих поверхностей, снятых с разных скан-позиций. Обычно общими точками служат специальные светоотражательные марки, устанавливаемые вокруг скан-позиции перед работой лазерного сканера. Как правило, каждая скан-позиция опирается на 4-6 марок. Для увязки у соседних скан-позиций должно быть не менее трех общих марок. Точность привязки марок не хуже 2 см. Перед началом работ проводится рекогносцировка ЛО для оценки количества и расположения скан-позиций и марок. При выборе местоположения сканера для каждой из скан-позиций необходимо учитывать, что перекрытие ТЛО, полученных с соседних скан-позиций должно составлять не менее 20%.

Оборудование для НЛС состоит из лазерного сканера на штативе, фотоаппарата и защищенного ноутбука оператора, куда по витой паре от сканера в оперативном режиме передаются данные съемки. Фотоаппарат монтируется на верхнюю часть сканера. После завершения сканирования выполняется круговое фотографирование. Такая функция сканера удобна для передачи истинных цветовых характеристик ТЛО. Питание лазерного сканера и ноутбука осуществляется посредством бензинового генератора или аккумуляторных батарей. В условиях пониженных температур для работы лазерного сканера необходимо производить постоянный подогрев его сервопривода. Для этого используется специальный трубчатый электронагреватель, подключаемый к аккумуляторной батарее.

Параллельно с НЛС производятся работы по созданию условной системы координат (УСК) ЛО и съемке марок для сообщения им координат создаваемой системы.

Электронный тахеометр устанавливается на штативе на льду. Место постановки тахеометра принимается за начало отчета плановых координат УСК. Направления осей УСК задается, как правило, по простиранию зоны торошения (ось X) и вкрест ей (ось Y). За ноль отчета высотных отметок принимается уровень моря, снятый электронным тахеометром в отражательном режиме с помощью замерщика с вехой. При съемке ЛО на припайном льду оборудование может быть установлено как на поверхности льда, так и на берегу. Возможна привязка УСК к реперам ГГС или местной сети [2].

Марки снимаются электронным тахеометром в безотражательном режиме. Это позволяет проводить увязку ТЛО в единый массив в УСК

ЛО. Работы по исследованию ЛО, как правило, носят комплексный характер. Таким образом, представление всех пространственных данных, получаемых при изучении ЛО, в единой УСК и на геоподоснове, полученной по данным НЛС, позволяет эффективно проводить анализ данных.

Сканер, марки и тахеометр устанавливаются на штативах. При установке штативов нужно учитывать влияние солнечной радиации. Из-за нее происходит нагрев металлических ножек штатива, что приводит к уходу уровня и может существенно повлиять на качество съемки. Поэтому необходимо изолировать металлические ножки штатива радиации, засыпав их снегом. При работе на дрейфующих ЛО зыбь также накладывает ограничения на производство съемки. Если сила зыби позволяет проводить работы на ЛО и условий для разрушения ЛО нет, то электронный тахеометр, тем не менее, испытывает колебания уровня. Автоматический компенсатор тахеометра позволяет проводить измерения при отклонениях от горизонта не более 3'. При больших отклонениях проводить измерения запрещено. Наличие зыби сокращает дальность работы лазерного сканера, при котором обеспечивается необходимая точность съемки.

Обработка данных состоит из нескольких последовательных этапов:

- получение координат марок в УСК;
- увязка ТЛО с несколькими скан-позиций по общим маркам в координатах УСК и получение единого массива ТЛО;
- очистка ТЛО от посторонних объектов (силуэтов людей, штативов и прочего оборудования, ТЛО ледокольного судна при съемке дрейфующих ЛО, береговых сооружений при съемке ЛО на припайном льду);
- построение цифровой модели рельефа (ЦМР) надводной части ЛО.

На основе полученной ЦМР можно проводить статистический анализ рельефа надводной части ЛО. Вычисление максимального, среднего и минимального значения высотной отметки, стандартного отклонения распределения отметок, работа с выборками по высотным поясам при наличии существенного числа исследованных ЛО позволяет проводить обобщения и делать выводы о региональных особенностях морфологии ЛО.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Середович В.А.** Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

2. Инструкция по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР [Текст]. – М.: Недра, 1985. – 150 с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ

Пискунова Е.А.¹, Яковлев Д.В.², Пальшин Н.А.^{1,2}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, evapiskunova@gmail.com,
palshin@ocean.ru*

² *ООО "Северо-Запад", г. Москва, mail@nw-geophysics.com*

Paper concerns the peculiarities of electrical properties of rocks in criolitic zone and electromagnetic methods used for its studying. These methods can be applied both for onshore and off-shore studies. An example of onshore studies in Yenisei-Khatanga region is discussed.

Криолитозона – это область существования горных пород с отрицательной температурой, часть из которых содержит лёд и/или газогидрат (мерзлота), а часть – не содержит льда (охлаждённые или морозные породы). Под воздействием различных, в том числе антропогенных факторов, мёрзлые породы могут оттаивать, а охлаждённые – замерзать. [1]. Кроме того, криолитозона является своего рода водоупором (особенно его верхние многолетнемерзлые слои), и в ее нижней части который могут скапливаться газогидраты или свободный метан как абиогенного происхождения

Электропроводность осадочных пород, не находящихся в мёрзлом состоянии, зависит, в первом приближении, от пористости и электропроводности порового флюида. Электропроводность мерзлых горных пород в общем случае сложным образом определяется электропроводностью и размещением минеральной составляющей, льда, воздуха и незамерзшей воды в их объёме. В криолитозоне эффективная пористость (занятая флюидом) в льдистых и мёрзлых породах уменьшается из-за наличия льда и/или газогидрата, которые занимают поровое пространство. Это приводит к существенному уменьшению электропроводности, тогда как охлаждённые породы, содержащие флюиды с повышенной солёностью (криопэги), имеют, наоборот, повышенную электропроводность. Таким образом, диапазон электрического сопротивления в криолитозоне составляет от тысяч Ом·м для многолетнемерзлых пород до первых Ом·м для криопэгов, что делает электромагнитные

методы эффективным инструментом для изучения строения криолитозоны, как на суше, так и на шельфе Арктических морей.

Электроразведочные методы традиционно являются одними из основных при изучении мёрзлых пород. На суше для этого используется практически все известные электроразведочные методы,

На акваториях арктических морей в последние годы также начали применять ЭМ методы. В силу специфики морской электроразведки наибольшее распространение получили технологии, использующие буксируемые за судном установки, а также донные станции или их комбинации. В прибрежных районах арктических морей, заливах и в устьях крупных рек имеется возможность выполнять исследования со льда. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки [2, 3, 4, 5].

МТ метод, использующий вариации естественного ЭМ поля, обладает большим диапазоном исследуемых глубин от десятков метров до десятков километров и широко используется как на суше, так в морском (донном) варианте. МТ зондирования могут также выполняться со льда. Для этого разработана оригинальная методика заземления приемных линий и получен патент РФ №113026 [6]. Данная методика позволяет исследовать прибрежные зоны, реки, озера, заливы в зимнее время года, проводя работы с вездеходов, снегоходов, а регистраторы устанавливаются прямо на льду. При этом получают данные хорошего качества, без лишнего шума, которые появляются при работе с судов. Примером подобных работ могут служить работы фирмы “Северо-запад”, выполненные в Хатангском заливе. В транзитных зонах могут использоваться различные комбинированные технологии, когда электрические поля измеряются на дне, а магнитные – на берегу [7].

Естественным природным полигоном для анализа особенностей электропроводности криолитозоны является хорошо изученный методом МТ зондирования Енисей-Хатангский прогиб, поскольку в нем практически повсеместно присутствует криолитозона, во многих метрах известны выделения метана, а также встречаются газогидраты. На территории Енисей-Хатангский прогиба выполнен большой объем геофизических исследований различными методами, нами, в качестве примера, был выбраны один из профилей для более детального исследования. На этом профиле ниже зоны многолетнемерзлых пород выделялись высокоомные области, которые и вызвали интерес, т.к. могут соответствовать зонам скопления газовых гидратов. Данные были обработаны и разрезы построены с использованием двумерной инверсии. Один из примеров представлен на рис. 1.

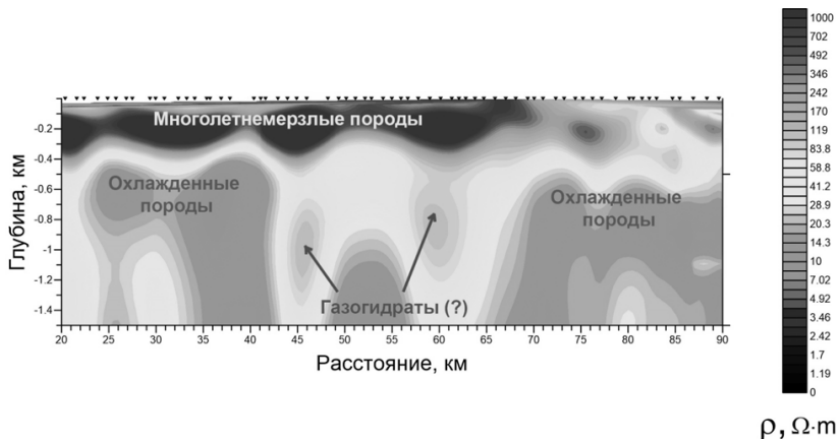


Рис. 1. Геоэлектрический разрез криолитозоны вдоль участка профиля 403 в Енисей-Хатангском прогибе (двумерная инверсия МТ данных)

В верхней части уверенно выделяются многолетнемерзлые породы мощностью более 200 м, которые характеризуются высоким сопротивлением (около 1000 Ом·м). Мощность этого слоя переменная, в правой части разреза слой многолетнемерзлых пород выклинивается. Ниже, на глубинах более 400 м залегают охлаждённые породы с сопротивлением < 20 Ом·м. В центральной части профиля выделены две субвертикальные зоны повышенного сопротивления (45 и 65 км). Скорее всего, они соответствуют скоплению газогаидратов над залежью УВ, которые могут скапливаться под многолетнемерзлыми породами, которые служит крышкой. Подобные аномалии были выявлены над несколькими месторождения углеводородов и, в настоящее время, рассматриваются как один из поисковых признаков [8].

Характерной особенностью электропроводности криолитозоны является существенная латеральная и вертикальная неоднородность. Многолетнемерзлые породы характеризуются вертикальной анизотропией электропроводности. Специальные технологии электромагнитных методов исследования криолитозоны, учитывающие эти особенности, позволяют повысить эффективность исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якупов В.С. Геофизика криолитозоны. Якутск: Изд-во Якутского госуниверситета. 2008. С.342.

2. **Schwalenberg K. , Willoughby E. , Mir R. , Edwards, R. N.** Marine gas hydrate electromagnetic signatures in Cascadia and their correlation with seismic blank zones // *First Break*. 2005. 23. P. 57–63.

3. **Пальшин Н.А.** Проблемы электромагнитных зондирований на акваториях // *Геофизический Журнал НАНУ*. 2009. Т. 31. №4. С. 78-92.

4. **Sherman D., Kannberg P. and Constable S.,** Surface towed CSEM systems for shallow water mapping of Arctic permafrost // *Proceedings of 23d EM Induction Workshop, Chiang Mai, Thailand, 14-20 August 2016*.

5. **Кошурников А.В., Тумской В.Е. Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Дударев О.В., Гунар А.Ю., Пушкарев П.Ю., Семилетов И.П. Кошурников А.А.** Первый опыт электромагнитного зондирования для картирования кровли подводной мерзлоты на шельфе моря Лаптевых // *Доклады Академии наук*, Т.469(5). С. 616–620.

6. **Пальшин Н.А., А.И. Гераськин, А.Г. Яковлев, Д. В. Яковлев. С.Н. Курочкин, Т.Н. Багаева,** Устройство заземления для морской и речной электроразведки // *Патент РФ №113026*, 2011.

7. **Yakovlev, A., Yakovlev, D., Trigubovich, G., Lygin, V. and Palshin, N.** Shallow water MT technology // *Abstract book of the IAGA 11th Scientific Assembly, Sopron, 24-29 August, 2009*.

8. **Афанасенков А.П., Волков Р.П., Яковлев Д.В.** Аномалии повышенного электрического сопротивления под слоем многолетнемерзлых пород – новый поисковый признак залежей углеводородов // *Геофизические исследования*. 2016. №6. С. 40–52.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ OFDM ТЕХНОЛОГИИ

Дябиров Р.М., Шахтарин Б.И., Чумаков Ю.В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана»
(национальный исследовательский университет),
105005, г. Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15,
sm42@sm.bmstu.ru*

Paper describes the character of hydroacoustic channel in the context of underwater communications. Real-time channel evaluation is necessary. Adaptive frequency receivers and transceivers give best results. The discussed technologies are: S2C, OFDM.

В нашей стране ведется активное освоение Мирового океана. В этой связи в настоящее время всё чаще поднимается вопрос необходимости организации высокоскоростной передачи цифровых данных под водой.

Гидроакустический канал является неоднородным, что очень специфично для передачи данных. Скорость звука в воде нелинейно зависит от гидрологических параметров водной среды [6]. В приповерхностных водах и на мелководье остро стоит проблема многолучевого распространения сигнала. Так же существует проблема доплеровского сдвига частоты, зашумленности канала.

В мире сформировалось несколько подходов к решению этих проблем.

Например, компания EvoLogics GmbH использует для передачи данных запатентованную технологию S2C (Sweep Spread Carrier) – непрерывное расширение спектра фазоманипулированного. Сигнал с расширением спектра в широком диапазоне частот позволяет хорошо бороться с многолучевостью благодаря возможности изолировать искажения, связанные с взаимодействием лучей [1, 2].

Компания LinkQuest использует для передачи данных технологию OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Данная техно-

логия успешно используется для высокоскоростной передачи данных по воздуху (стандарт 4G LTE, Wi-Fi) [5].

В нашей стране на сегодняшний момент работы в этой области ведутся в НИИ гидросвязи «Штиль». В рамках опытно-конструкторской работы изготовлен высокоскоростной гидроакустический модем. Скорость обмена зависит от ширины полосы частот.

Перед всеми разработчиками гидроакустических модемов на данный момент стоит проблема организации высокоскоростной стабильной связи между модемами, построения бесперебойного сетевого обмена [3].

Согласно [4], огибающая сигнала на входе гидроакустического приемника хорошо описывается законом Релея. При таком сценарии многолучевого распространения отсутствует прямая видимость между приемником и передатчиком. Параметры канала связи при этом постоянно изменяются.

Таким образом, необходима оценка характеристик гидроакустического канала непосредственно перед сеансом связи. Для достижения наилучших результатов передачи данных предлагается использовать широкополосные приемники и передатчики с адаптивными параметрами.

Так как аналогичная задача с успехом решена для воздушных сред с помощью алгоритмов OFDM, авторами решено взять за основу данный алгоритм. Технология OFDM позволяет варьировать способ синхронизации приемника и передатчика, величину и заполнение защитного интервала. Критерием оптимизации авторы предлагают выбрать вероятность появления битовой ошибки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Кебкал К.Г.** Способ цифровой связи по многолучевым гидроакустическим каналам с применением частотно-модулированного несущего сигнала. / К.Г. Кебкал, А.Г. Кебкал и др. // Акустический журнал. – 2004. – Т. 50. – № 2. – С. 220–230.

2. **Кебкал А.Г.** Эмулятор системы цифровой гидроакустической связи и позиционирования для разработки и тестирования пользовательских приложений. / А.Г. Кебкал, К.Г. Кебкал и др. // Подводные исследования и робототехника – 2013. – № 2(16). – С. 48–55.

3. **Кебкал К.Г.** Цифровые гидроакустические сети для связи в условиях длительных задержек и разрывов соединения: экспериментальное исследование. / К.Г. Кебкал, В.К. Кебкал и др. // Подводные исследования и робототехника – 2015. – № 2(20). – С. 12–19.

4. **Баранов Г.Г.** Распределение вероятности огибающей и фазы смеси гидроакустического сигнала связи с линейным расширением спектра

и гауссова шума. / Г.Г. Баранов, К.Г. Кебкал// Збірник наукових праць СНУЯЕтаП – 2009. – Вып.1 – с. 226–215.

5. **Бакулин М.Г.** Технология OFDM. Учебное пособие для вузов. / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 352 с., ил.

6. **Shengli Zhou, Zhaohui Wang.** OFDM for Underwater Acoustic Communications. : Wiley, 2014. – 410 с.

УДК 551.465

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХЛОРОФИЛЛА В МОРЯХ И ОЗЕРАХ ВО ВРЕМЯ ЦВЕТЕНИЙ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Карабашев Г.С.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)422 43 33
genkar@mail.ru*

Предлагается определять содержание хлорофилла в воде во время цветения микроводорослей по разностному сигналу обратного рассеяния света от искусственного источника или Солнца на длине волны максимума полосы поглощения света хлорофиллом (443 нм) и на склоне той же полосы (например, 410 нм). Способ был опробован на примере данных спутниковых сканеров цвета океана в Балтийском и Каспийском морях и реализуем в виде судовой аппаратуры для дистанционного и контактного зондирования водной толщи. Уступая флуориметрии по пороговой чувствительности, он превосходит ее по избирательности к хлорофиллу.

Микроводоросли природных бассейнов важны как первичное звено пищевой цепи и потенциальный источник токсинов, опасных для животных и человека. Поэтому мониторинг событий цветения (массового размножения микроводорослей) сохраняет актуальность на протяжении последних десятилетий. Цветения больших водоемов непредсказуемы по месту, времени и продолжительности. Отсюда жесткие требования к экспрессности средств мониторинга. Им отвечают спутниковые сканеры цвета океана, но они «не видят» водную поверхность сквозь облачность.

Поэтому востребованы беспутниковые методы контактного и дистанционного зондирования цветений. Настоящий доклад посвящен развитию новой версии таких методов.

Эта версия появилась при истолкования картин цветения в разных регионах, полученных мультиспектральными сканерами цвета океана MODIS и MERIS. Оба сенсора оснащены каналами для регистрации яркости моря Rrs на длинах волн 443 и 412 нм. Первая из них совпадает с длиной волны максимума полосы поглощения хлорофилла, а вторая относится к коротковолновому склону той же полосы. Поглощение солнечной радиации хлорофиллом вызывает дефицит обратнорассеянной радиации. Он максимален на 443 нм, убывая по обе стороны от максимума поглощения. Поэтому разность $D = Rrs(443) - Rrs(412)$ может служить мерой содержания хлорофилла в воде. Реализуемость подхода была проверена на спутниковых данных (Карабашев, Евдошенко, 2015, Karabashev, Evdoshenko, 2016).

Подход отличают два достоинства: прямая связь индекса D с поглощением света хлорофиллом в воде (и, следовательно, с его концентрацией) и простота реализации аппаратной части. Она исполнима с помощью простейших средств как двухканальный фильтр-фотометр в двух вариантах. Во-первых, в виде погружаемого зонда со встроенным источником света для регистрации изменений разностного сигнала с глубиной с борта судна (вертикальное профилирование). Такой зонд может быть градуирован на хлорофилл с использованием культуры водорослей, вызывающих цветение. Во-вторых, как устройство дистанционного зондирования морской поверхности на ходу судна или с борта авианосителя, регистрирующее разностный сигнал солнечного излучения, обратно рассеянного водной толщей. Любой из этих вариантов свободен от ограничений по погодным условиям и атмосферной коррекции, присущих спутниковым наблюдениям, что крайне важно при изучении сезонности и межгодовой изменчивости цветений на акваториях интенсивного природопользования (внутренние моря, проливы, крупные озера и т.п.).

По всем показателям, кроме пороговой чувствительности, такой измеритель обеспечит более строгое определение хлорофилла по сравнению с зондом-флуориметром, настроенным на полосу флуоресценции этого пигмента. Причина в том, что удельное поглощение света хлорофиллом зависит от меньшего числа факторов среды по сравнению с его удельной флуоресценцией.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-05-00412.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карабашев Г.С., Евдошенко М.А.** Спектральные признаки цветения цианобактерий в Балтийском море по данным сканера MODIS/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 3. С. 158–170.

2. **Karabashev G.S., Evdoshenko M.A.** Narrowband shortwave minima in spectra of backscattered light from the sea obtained from ocean color scanners as a remote indication of algal bloom./ 2016 Oceanologia V. 58, pp. 279—291.

УДК 581.526.325:(262.5)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД И СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ПОРТУ НОВОРОССИЙСК И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ В 2010 ГОДУ

Ясакова О.Н.¹, Часовников В.К.²

¹ *Институт аридных зон ЮНЦ РАН, ул. Чехова, 41, 344006,
г. Ростов-на-Дону, 8 (8632) 66-56-77, yasak71@mail.ru*

² *Южное отделение Института Океанологии им П.П. Шишова,
Голубая бухта, 353467, г. Геленджик-7, 8 (8614) 12-80-89
chasovnv@mail.ru*

The article presents the research of qualitative structure and quantitative development of the phytoplankton and hydrochemical parameters of water in the port of Novorossiysk and open part of the bay during the summer – autumn period 2010. Biological index is not often correlated with hydro chemical structure of the water.

В статье представлены результаты исследования гидрохимического состава вод и состояния фитопланктона в зоне влияния Новороссийского порта и за его пределами в период лето-осень 2010 г. Новороссийск – крупнейший транспортный узел на юге России, через который ежегодно переваливается свыше 120 млн. тонн грузов. Цель работы – исследовать качественные и количественные характеристики фитопланктона в условиях антропогенной нагрузки на акватории Новороссийского порта и за его пределами.

Пробы фитопланктона отбирали с поверхности моря в дневное время суток на акватории Новороссийского порта (станции №№ 1–7) и за его пределами (фоновая станция № 8) в июне, сентябре и октябре 2010 г. Концентрирование проб фитопланктона осуществляли методом обратной мягкой фильтрации, фиксировали раствором люголя и формалином [1, 2]. Идентификация видов, подсчет численности и определение объема клеток фитопланктона проводили в соответствие с общепринятыми руководствами [3–5].

Параллельно в районе исследований были проведены гидрохимические исследования морской среды на тех же станциях, где отбирали пробы фитопланктона. Для аналитических определений использовалось оборудование Лаборатории химии ЮО ИО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (СААЛ) Госстандарта России (Аттестат №РОСС RU.0001.512500). Приборы проверены в соответствие с требованиями СААЛ Госстандарта РФ. Использовали методы определения гидрохимических параметров в поверхностных водах, принятых для морских экспедиционных работ [6, 7].

Обнаружено 66 видов фитопланктона, относящихся к 7 отделам *Bacillariophyta* (диатомовые), *Dinophyta* (динофитовые), *Chrysophyta* (золотистые), *Euglenophyta* (эвгленовые), *Chlorophyta* (зеленые), *Cryptophyta* (криптофитовые), *Cyanophyta* (синезеленые водоросли). Максимальное видовое разнообразие отмечено среди диатомовых (23 вида) и динофитовых водорослей (31 вид). Другие отделы были представлены 2-3 видами.

Пик в развитии фитопланктона (190 тыс. кл./л при биомассе 435 мг/м³) порта зарегистрирован в июне (Тводы=21,9°C; S=12.51‰). В этот период были отмечены наиболее высокие концентрации биогенных веществ как в порту (в мг/л: PO₄ – 0.041; NO₃ – 0.712; NO₂ – 0.016; Urea – 0.039), так и за его пределами (в мг/л: PO₄ – 0.007; NO₃ – 0.172; NO₂ – 0.006; Urea – 0.026). Диатомовые водоросли формировали 79 % общей численности и 49 % биомассы фитопланктона на акватории порта, за пределами – 94 % и 81 % соответственно. Доминирующие виды – *Chaetoceros socialis f. socialis* Laud., *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl.; на уровне субдоминант развивались *Chaetoceros scabrosus* Pr.-Lavr., *C. curvisetus* Cleve, *C. affinis* Laud., *C. compressus* Laud., *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle и *Asterionellopsis glacialis* (Castr.) Round. Основную компоненту биомассы формировали *C. scabrosus*, *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundstrom, *C. curvisetus*. Динофитовые в порту формировали не более 5 % общей численности и 4 % биомассы фитопланктона. Среди них количественно преобладали виды ро-

да *Prorocentrum*: *P. cordatum* (Ostf.) Dodge, *P. compressum* (Bail.) Abe ex Dodge, *P. micans* Ehr. На уровне субдоминант развивались *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Balech, *Gyrodinium fusiforme* Kof. et Sw., *Glenodinium* sp. Основную компоненту биомассы формировали крупноклеточные *Ceratium tripos* (Mull.) Nitzsch., *C. furca* (Ehr.) Dujard.

Обилие фитопланктона (246 тыс. кл./л при биомассе 1307 мг/м³) на фоновой станции ($T_{\text{воды}}=22,7^{\circ}\text{C}$; $S=16,17\%$) в 1.3 и 3 раза превысило средние величины, отмеченные в порту. Преобладали те же виды диатомовых и динофитовых водорослей, что и в порту. Динофитовые формировали 4 % общей численности и 18 % биомассы фитопланктона. Меньшая по сравнению с портом трофность вод не способствовала здесь обильному развитию мезосапробных водорослей *S. costatum* и *E. lanowii*, составивших 5 % общей численности фитопланктона.

В сентябре ($T_{\text{воды}}=25,7^{\circ}\text{C}$; $S=17,17\%$) отмечали снижение величин численности и биомассы фитопланктона (64 тыс. кл./л и 111 мг/м³). Величины концентрации основных биогенных веществ (кроме мочевины) по сравнению с июнем снизились в порту в 4-20 раз (в мг/л: PO_4 – 0.009; NO_3 – 0.030; NO_2 – 0.004; Urea – 0.032); за его пределами в 3–15 раз (в мг/л: PO_4 – 0.002; NO_3 – 0.011; NO_2 – 0.001; Urea – 0.024). Диатомовые формировали 82 % общей численности и 44 % биомассы фитопланктона порта, 50 % численности и 80 % биомассы – за его пределами. В порту доминировали *Thalassiosira* sp. и *C. compressus*, на уровне субдоминант развивались *Leptocylindrus minimus* Gran., *Nitzschia tenuirostris*, *S. costatum*, *Thalassionema nitzschioides* (Grun.) Grun. ex Hustedt. Динофитовые формировали 14 % общей численности и 55 % биомассы фитопланктона порта. Среди них обильно развивались представители родов *Gymnodinium*, *Glenodinium* и *P. cordata*. Значительную часть биомассы среди диатомовых водорослей формировали крупноклеточные виды *Proboscia alata* (Brightwell) Sundstrom и *P. calcar-avis*, среди динофитовых – относительно крупные виды рода *Protoperidinium*, *C. furca* и *C. fusus* (Ehr.) Dujard.

За пределами порта ($T_{\text{воды}}=26,0^{\circ}\text{C}$; $S=17,38\%$) значения численности и биомассы в этот период составили 54 тыс. кл./л и 431 мг/м³. Среди диатомовых количественно преобладали *P. alata*, *N. tenuirostris*, *P. pseudodelicatissima*. Возросла роль крупноклеточных водорослей: *P. alata* и *P. calcar-avis* – 99 % биомассы отдела. Доля динофитовых составила 37 % общей численности и 20 % биомассы фитопланктона. Среди них доминировали *Gymnodinium* sp., *P. cordata*, *S. trochoidea*. Виды *C. furca*, *C. fusus*, *P. micans*, *S. trochoidea* формировали 80 % биомассы отдела. Значительное развитие в открытой части получили мелкие

жгутиковые водоросли, плотность которых составила 13 % общей численности фитопланктона.

В октябре ($T_{\text{воды}}=18,8^{\circ}\text{C}$; $S=16,89\%$) величины обилия фитопланктона на акватории порта вновь возросли (150 тыс. кл/л и 287 мг/м^3). Концентрации биогенных веществ по сравнению с сентябрем изменились незначительно как в порту (в мг/л: $\text{PO}_4 - 0.003$; $\text{NO}_3 - 0.033$; $\text{NO}_2 - 0.0002$; $\text{Urea} - 0.044$), так и за его пределами (в мг/л: $\text{PO}_4 - 0.001$; $\text{NO}_3 - 0.008$; $\text{NO}_2 - 0.001$; $\text{Urea} - 0.008$). Доминировали диатомовые и золотистые водоросли (50 и 30 % обилия фитопланктона). Среди диатомовых преобладали мелкоразмерные виды: *N. tenuirostris*, *L. minimus*, *Thalassiosira* sp. и *S. costatum*; основу биомассы формировали *P. alata*, *P. calcar-avis*, *Thalassiosira* sp., *Cerataulina pelagica* (Cl.) Hendeу. Динофитовые составили 12 % общей численности и 74 % биомассы фитопланктона. Количественно доминировали среди них *P. micans* *P. minimum*; по биомассе преобладали *C. furca*, *P. micans*, *Protoперидиниум divergens* (Ehr.) Balech., *P. depressum* (Bail.) Balech, *Protoперидиниум* sp. Нанопланктонные клетки золотистой водоросли *Emiliania huxleyi* (Lohm.) Hay at Mohler формировали 30 % численности фитопланктона порта.

В открытой части бухты ($T_{\text{воды}}=19,5^{\circ}\text{C}$; $S=16,93\%$) плотность фитопланктона составляла 173 тыс. кл/л при биомассе 341 мг/м^3 . Доминировала *E. huxleyi*, в значительном количестве развивались криптофитовые водоросли (42 и 14 % общей численности). Диатомовые составили 33 % численности и 14 % биомассы фитопланктона, в массе развивался вид *N. tenuirostris*, на уровне субдоминант отмечены виды рода *Chaetoceros*: *C. affinis* *C. compressus*, *C. curvisetus* и др.; основную компоненту биомассы формировали *D. fragilissimus* (Bergon) Hasle, *C. pelagica* и *P. alata*, род *Chaetoceros*. Динофитовые составили 11 % обилия и 82 % биомассы планктонных водорослей. Максимальное развитие среди них наблюдали у *P. compressum*, *P. micans* и *P. minimum*; биомассу формировали *C. furca*, *P. divergens*, *P. depressum*.

Таким образом, положительной корреляции между распределением количественных величин планктонных водорослей и биогенных элементов на исследуемой акватории Новороссийской бухты отмечено не было: уровень концентрации основных биогенных веществ в порту в 2-6 раз был выше, чем в открытой части бухты; тогда как максимальное обилие фитопланктона наблюдали за пределами порта. На лучшую экологическую ситуацию открытого района бухты, связанную с пониженным фоном питательных веществ, указывало почти полное отсутствие здесь эвгленовых и сине-зеленых водорослей, которые в порту составляли до 15 % общей численности и 10 % биомассы фитопланктона.

Работа выполнена в рамках программ "Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России" (№ гос. рег. ЦИТИС: 01201363187)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сорокин Ю.И.** К методике концентрирования фитопланктона // Гидробиол. журнал, 1979. №2. С. 71–76.
2. **Фёдоров В.Д.** О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: МГУ, 1979. С. 106–108.
3. **Кольцова Т.Н., Лихачева Н.Е., Федоров В.Д.** О количественной обработке проб фитопланктона. Биол. Науки, – 1979, № 6, С. 96-100.
4. **Dodge J. D.** Marine dinoflagellates of the British Isles. London: HMSO. 1982. 301 p.
5. **Tomas C.** (ed.). Identifying marine phytoplankton. San Diego, CA. Academic Press. Harcourt Brace Company. 1997. 821 p.
6. Современные методы гидрохимических исследований океана / Под ред. Бордовского О.К., Черняковой А.М. Москва: ИО РАН. 1992. 253 с.
7. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.213-02. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.

УДК 004.021

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЛЕНГА НА МОРСКОЙ ОБЪЕКТ С УЧЕТОМ КАЛИБРОВКИ ВОЛНОВОДА ПО ШУМОВЫМ СИГНАЛАМ

Гринюк А.В., Кравченко В.Н., Махнев Ю.В., Трофимов А.Т.

АО "НИИ "Атолл"

Приборостроителей, д.5, 141981, г. Дубна, 8-49621-273-93

The present paper focuses on the construction of optimal algorithms of signal processing. A multimode structure of signals was considered. Recommendations for improving the efficiency of the algorithms were presented.

Задача определения направления на морские объекты по излучаемым ими шумовым гидроакустическим сигналам является одной из актуальных задач гидроакустики. В данной работе рассматривается решение этой задачи для линейных гидроакустических антенн (длиной до 2 км) в низкочастотной области (до 200 Гц) в широкой полосе частот.

Глубина волновода колеблется от 200 до 250 м. Сложность решения задачи обусловлена многомодовой структурой распространения гидроакустических сигналов.

Для обнаружения сигнала с некоторого направления θ требуется получить максимум отклика в результате сложения сигналов с разных приёмников в соответствии с выражением (1).

$$E(\theta) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K |S(\omega_{k,n}) \cdot H_{\theta,k,n}|^2, \quad (1)$$

где $S(\omega_{k,n})$ – спектр сигнала, $H_{\theta,k,n}$ – фазовращающий множитель, учитывающий геометрию антенны, n и N – соответственно номер и количество приёмников в антенне, K – количество отсчетов в обрабатываемом частотном диапазоне.

Алгоритмы первичной обработки данных с линейных антенн в соответствии с (1) обеспечивают необходимую точность оценок пеленга на морской объект с направлений $\pm 45^\circ$ от нормали к оси Ox антенны. В ситуациях, когда сигналы приходят с направлений вдоль оси антенны возникают ошибки определения направления, которые могут составлять до 35° .

Нами был выполнен большой объем вычислений по корреляционному анализу экспериментальных данных, который показал, что с направлений $\pm 30^\circ$ от оси антенна обладает очень высокой чувствительностью к искажениям сигнала, вносимым интерференцией мод. Коэффициент корреляции сигналов с приёмников, отстоящих друг от друга более чем на 150 м, не превышает значений 0,3. Это говорит о том, что в результате интерференции мод сигналы значительно видоизменяются по пространству. По этой причине фазы суммируемых с различных приёмников сигналов претерпевают значительные скачки, и результирующий отклик с истинного направления чаще всего оказывается меньшим, чем с ошибочного.

Очевидно, что при обработке необходимо учитывать изменение сложной интерференционной картины. Для этого нами была предпринята попытка выделения мод из непрерывных шумовых сигналов. Нами предлагается использовать метод, описанный в [1], т.е. осуществить ДПФ по спектральным отсчетам сигналов с приёмников антенны и тем самым определить интенсивность пространственных частот. На рис. 1 представлены результаты отмеченных выше преобразований экспериментальных данных, содержащих записи шумовых сигналов при известных координатах движения корабля.

На рис. 1 яркие белые линии представляют собой моды. Такие результаты были получены для различных расстояний до источника шума

и проверены путём построения имитационной модели [2]. Можно заметить, что каждая мода имеет свой наклон, и каждый частотный отсчет соответствует определённой пространственной частоте. Пространственные частоты характеризуются фазовым множителем ДПФ на i -ом отсчёте. Фазовый множитель, соответствующий горизонтальной прямой вдоль оси частот, соответствует $H_{\theta,k,n}$ со скоростью звука 1500 м/с. Таким образом, по номеру отсчета пространственной частоты можно определить скорости мод.



Рис. 1. Результат пространственного ДПФ в истинном направлении на источник шума

В направлениях, отличных от истинного, линии сохраняют разность скоростей, но имеют другие наклоны. Чтобы увидеть зависимость изменения откликов от направления и скоростей мод, линии откликов были просуммированы. Результат сложения представлен на рис. 2.

На приведенном рисунке видны результаты обработки сигналов различных мод, представленные визуальными образами дугообразной формы. Для определения истинного направления, необходимо выделить максимум на каждой энергосзначимой моде, определить направления на эти максимумы и взять среднее между ними. В данном примере истинное направление на источник соответствует -168 , а две дуги имеют сопоставимые по величине максимумы с направлений -161 и -179 (направление -180 соответствует направлению вдоль оси антенны). Вычисление среднего даёт направление -170 и ошибка составляет всего 2° .

На рис. 3 приведены отметки пленга, полученные разными алгоритмами. Можно увидеть, что отметки предлагаемого в данной работе

алгоритма лежат ближе к истинной траектории движения объекта. Величина математического ожидания ошибок и СКО оценок пеленга представлены в таблице 1.

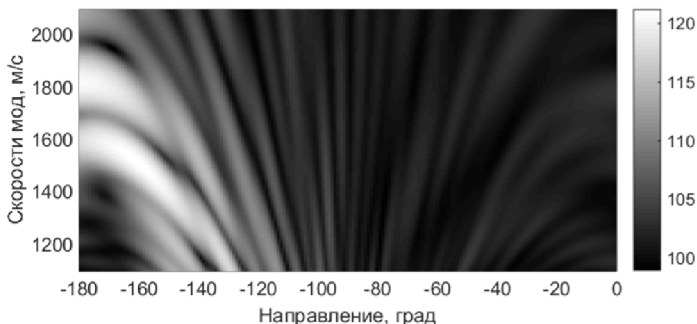


Рис. 2. Зависимость изменения энергетического отклика от направления и скоростей мод (дБ)

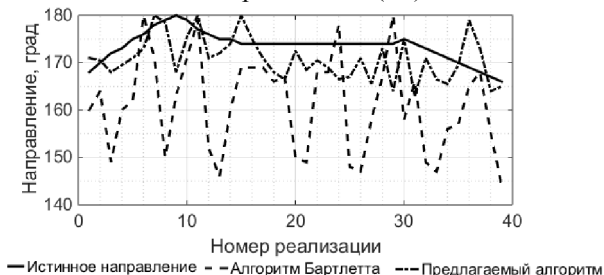


Рис. 3 Сравнение результатов работы алгоритмов первичной обработки

Полученные результаты позволяют рассчитывать на возможности создания методики калибровки гидроакустических каналов извлечения информации по шумовым сигналам и получения эффективных алгоритмов для оценок пеленга морских объектов с помощью линейных антенн в диапазоне $0\text{--}360^\circ$ с приемлемой точностью.

Таблица 1. Оценка эффективности алгоритмов первичной обработки

	Алгоритм Бартлетта	Предлагаемый алгоритм
Мат. ожидание ошибок пеленга	13,21	4,29
СКО	8,72	3,10

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мальшкин Г. С.** Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 1. Оптимальные методы / Г. С. Мальшкин. – СПб.: ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 2009. 400 с. ISBN 978-5900780-90-0.: с. 338–348.
2. Махнев Ю. В., Трофимов А. Т. Анализ пространственно-временных характеристик низкочастотных гидроакустических сигналов в мелком море // Труды XIII Всероссийской конференции "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". – Санкт-Петербург, 2016. С. 376–378.

УДК 504.424.064:623.459

ПРИБОР ДЛЯ ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ ВОДА–ДНО

Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Розанов А.Г., Лежнин В.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499) 124-13-01,
avegorov@ocean.ru*

Paper presents a part of marine engineering activities of P.P. Shirshov Institute of Oceanology concerning complicated underwater devices and methods of research. The discussed devices is the autonomous hydro chemical bottom instrument «Lender».

В докладе представлено описание измерительного комплекса предназначенного для исследования массообмена через поверхность раздела между литосферой и гидросферой в водоёмах. Такие приборы традиционно называются лендерами.

Лендер устанавливается на дно водоёма, на заданное время экспозиции, обычно в пределах нескольких суток. Основным рабочим элементом лендера является бентосная камера – ёмкость в виде перевернутого стакана. Вода в бентосной камере, контактирует лишь с поверхностью дна, оставаясь изолированной от остальной части гидросферы. Для моделирования естественной турбулентности жидкость в баке перемешивается мешалкой. Поток различных компонентов растворенных в воде через дно

приводит к изменению их концентраций в бентосной камере. По изменению концентраций, можно определить величину потока из гидросферы в осадок или наоборот. Для этого через определенные промежутки времени из бокса отбираются пробы воды для химического анализа.

Помимо дискретных проб воды могут быть использованы различные сенсоры, установленные непосредственно в бентосную камеру. Для работ сенсоров, записи и хранения информации используются специальные контроллеры с блоками питания расположенные в герметичном корпусе.

Гидрофизический зонд, помимо измерения температуры и солёности, может быть снабжен различными датчиками для измерения гидрофизических параметров. Использование сканирующего доплеровского акустического измерителя скорости и направления течений позволяет определить структуру окружающих лендер вод, направления переноса химических компонентов участвующих в обмене через поверхность раздела вода осадок.

Существует множество разновидностей лендеров, различающихся как по объекту исследований, так и по габаритам. Один из известных лендер Гетеборгского университета, имеет 4 бентосных камеры, более двух метров в высоту, вес более тонны, автономную систему постановки на большие глубины. Для обеспечения работы подобного лендера требуется специальное судно обслуживания с развитой системой для проведения сложных такелажных работ.

Лендеры ИО РАН относятся к классу мини лендеров, для работы в шельфовых зонах, бухтах, лагунах. Разработана и изготовлена линейка лендеров [1]. Линейка включает в себя трех боксовый лендер, обеспечивающий самую большую вариабельность проводимых одновременно исследований, однако его габариты не позволяют проводить исследования с маломерных судов, а следовательно и в труднодоступных акваториях. Одно боксовый лендер позволяет пользоваться основными функциональными возможностями лендеров и проводить постановку даже с резиновой лодки (рис.1). И, наконец, создан компактный лендер для работы с подводными аппаратами [1, 2].

В докладе уделено основное внимание одно боксовому лендеру, который обладает оптимальными соотношениями функциональности, массо-габаритными параметрами и удобству в работе. В результате систематического использования лендера ИО РАН в прибрежной зоне Черного моря получен большой опыт по его эксплуатации. Это позволило выявить и исправить отдельные конструктивные недостатки, а так же

повысить число одновременно измеряемых гидрохимических параметров до восьми.

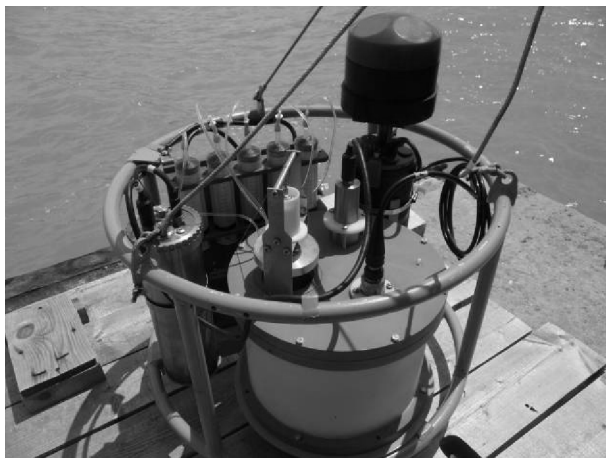


Рис. 1. Одно боксовый лендер для работы с маломерных судов

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №15-05-04229.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.П.** Линейка лендеров ИОРАН // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ–2013». – М.: АПР, 2013. Т.2. С. 298–302.

2. **Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Черняев Е.С., Лискин В.А., Лежнин В.А., Сагалевич А.М.** Модификация лендера ИО РАН для работы с глубоководными обитаемыми аппаратами «Мир» (опыт работ на оз. Байкал). //XII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ–2011). Москва, ИОРАН, 23-25 ноября 2011. Материалы конференции. Т.2. С. 101–104.

МОДЕЛЬ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ЛИТОСФЕРЫ В ГИДРОСФЕРУ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Егоров А.В.¹, Рожков А.Н.², Римский-Корсаков Н.А.¹

*¹ Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499) 124-13-01,
avegorov@ocean.ru*

*² Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва, (495) 434-33-52,
rozhkov@ipmnet.ru*

Paper gives a justification for the methane emission from lithosphere to hydrosphere with the account of phase transitions. Diffusion and convective transfer mechanisms are taken into account. The intensity of microbial methane generation is considered. Phase transitions are an important factor responsible for the intensity of the transfer.

Метан является важным ресурсным источником для промышленности. Кроме того он отвечает за климатические изменения и участвует в различных биохимических процессах происходящих в природных условиях [1].

В системе литосфера-гидросфера-атмосфера Важную роль играет эмиссия метана через поверхность раздела литосфера-гидросфера. Причиной этого является то, что основные источники метана на Земле находятся в литосфере. Промышленные запасы метана связаны в основном с процессами термокаталитического разложения захороненного органического вещества в зонах катагенеза на глубинах в несколько километров [2].

В гидросфере и верхней части литосферы образование метана так же как и его разложение протекает микробальным путем. Причем в присутствии кислорода, как правило, происходит метаноокисление, а при его отсутствии метаногенерация. Водная толща океанов и морей обычно содержит растворенный кислород поэтому метан может образовываться в микроаэробных условиях, например в кишечнике зоопланктона [3]. В верхней части осадков активный кислород быстро исчезает с глубиной и процессы микробного образования метана могут протекать весьма

активно вплоть до формирования самостоятельной фазы метана и пузырьковой разгрузки его через дно.

Эмиссия метана через дно важный фактор глобального баланса метана. При этом она имеет и чисто практическое значение. Так обнаружение разгрузки глубинного газа лежит в основе прямых геохимических методов поиска залежей углеводородов. Наличие газовых карманов в современных илах может провоцировать неустойчивость склонов. На больших глубинах в зоне устойчивости газовых гидратов восходящий газовый поток может формировать близповерхностные залежи гидратов метана.

Фазовый переход между растворенным в поровых водах метаном и самостоятельной фазой происходит при его очень высоких концентрациях. Так если концентрация метана в морской воде редко превышает мкл/л, то для формирования пузырька метана при атмосферном давлении нужна концентрация 30000 мкл/л. С ростом глубины концентрация фазового перехода линейно растет, достигая величин порядка 2л/л, в зоне стабильности гидратов [4].

Представлены модели как образования самостоятельной фазы в виде газовых гидратов, так и разложения гидратов находящихся вблизи дна. В моделях учтены условия равновесия для диффузионного и конвективного потока метана. В частности для формирования газовых гидратов необходимо существование интенсивного подтока метана от источника в глубине осадочной толще [5]. Это возможно лишь в двух случаях: 1-интенсивный вертикальный фильтрационный поток поровых вод и связанный с этим высокий термоградиент, 2-восходящий поток метана в самостоятельной газовой фазе.

Проведены количественные оценки эмиссии метана в воду в местах формирования залежей газовых гидратов не дне. Рассмотрено влияние пространственных масштабов на поле концентрации метана в гидросфере. Задача о формировании пузырьковой разгрузки за счет микробного метана рассмотрена [5–7].

Представлено описание экспериментов по проверке модели в природных условиях с использованием лендера. В экспериментах на озере Байкал с помощью лендера поставленного на залежь газогидрата измерен поток метана и рассчитана глубина залегания гидрата. В прибрежных водах Черного моря проведены постановки лендера в области распространения активного ила. Получены потки метана из осадков в воду, рассчитаны глубины формирования слоя пузырей метана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Мировой океан: много-

масштабность, многофазность, многопараметричность, и гранта РФФИ №15-05-04229.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров А.В.** Биогеохимия метана в осадках Балтийского и Черного морей: кинетические модели диагенеза. // *Океанология*, 2000, том 40, № 5, с. 600-606
2. **Хант Дж.** Геология и геохимия нефти и газа: Пер с англ. М.: Мир, 1982. 704 С.
3. Reeburgh W.S Oceanic Methane Biogeochemistry. *Chem. Rev.* 2007, 107, 486–513.
4. **Egorov A.V., Crane K., Vogt P.R., Rozhkov A.N.** Gas hydrates that outcrop on the sea floor: stability models // *Geo-Marine Letters*. 1999. V. 18. P. 68-75.
5. **Егоров А.В., Цыпкин Г.Г.** О диффузионном рассеивании природных газовых гидратов в осадках дна мирового океана // *Известия РАН. МЖГ*. 1999. №. 1. С. 170-173.
6. **Егоров А.В., Рожков А.Н.** Формирование гидратных залежей в подводных вулканах // *Известия РАН. МЖГ*. 2010. №. 5. С. 102–112.
7. **Егоров А.В., Рожков А.Н.** Разрушение залежей подводных газовых гидратов. // *Известия российской академии наук. Механика жидкости и газа*. 2014. №5. С. 93–103.

УДК 504.424.064:623.459

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕНДЕРА ИО РАН В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Егоров А.В.¹, Римский-Корсаков Н.А.¹ Рожков А.Н.²,
Белевитнев Я.И.¹**

*1 Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499) 124-13-01,
avegorov@ocean.ru*

*2 Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва, (495) 434-33-52,
rozhkov@ipmnet.ru*

Paper presents a part of marine engineering activities of P.P. Shirshov Institute of Oceanology concerning complicated under-

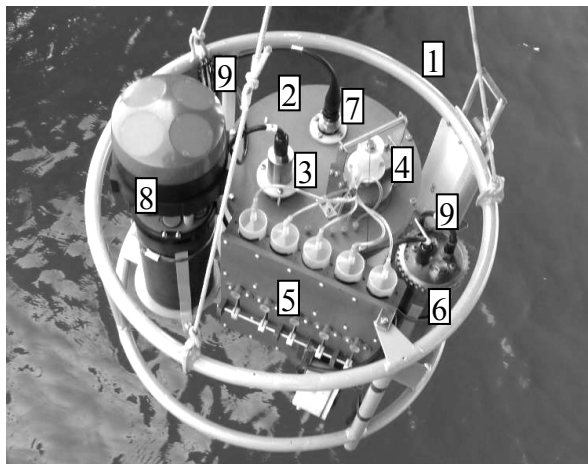
water devices and methods of research. The discussed devices is the autonomous hydro chemical bottom instrument «Lender». The experience of using Lander in coastal the Black Sea are described

В докладах [1, 2] описаны основные черты лендера – измерительного комплекса предназначенного для исследования массообмена через поверхность раздела между литосферой и гидросферой в водоёмах. В ИО РАН разработана целая линейка лендеров для выполнения различных задач связанных с изучением потоков вещества в различных условиях.

В данном сообщении подробно рассматриваются конструктивные особенности одно боксового лендера, который в течении трех сезонов использовался для изучения обменных потоков через поверхность раздела вода – осадок в области распространения активных илов Голубой бухты Черного моря.

Общий вид лендера представлен на рис.1. Остановимся на особенностях конструкции. Рама-1, является несущим элементом изготовленным из 25 мм алюминиевой трубы. К нижнему основанию приварены четыре ножки, на которых лендер стоит при обслуживании. Также к нижнему основанию приварены элементы крепления рабочего бокса-2, гидрофизического модуля-8, блока питания и управления станцией-6, и блока пробоотборников-5. К кольцу верхней части рамы приварены ушки для крепления такелажа из фала.

Верхняя массивная крышка рабочего бокса (бентосной камеры) имеет ряд отверстий и служит для крепления запирающего устройства для промывочного отверстия-4, постоянного перемешивающего устройства-3, датчика кислорода-7. На крышке расположены штуцеры для отбора проб воды и штуцер для связи внутреннего объема с окружающей водой. Рабочий бокс снизу открыт и закреплен таким образом, что бы его края находились на 5 см ниже основания рамы. Таким образом, заостренные края первые принимают нагрузку всего лендера и врезаются в грунт, изолируя внутренний объем бокса от внешней среды. Промывочное отверстие вначале постановки остается открытым, что бы вода промывала бокс во время погружения. Закрытие происходит после выдержки на дне в течение нескольких часов. В это время постоянное перемешивающее устройство включено за счет чего происходит обмен воды между внутренней и внешней объемами бокса. Работа запирающего устройства происходит под действием силы тяжести массивной крышки. Запирание демпфируется водным амортизатором. Управление закрытием идет через кулачковый механизм, расположенный на боке пробоотборников-5.



1 – несущая рама; 2 – рабочий бокс; 3 – постоянное перемешивающее устройство; 4 – запирающее устройство для промывочного отверстия; 5 – блок автоматического пробоотбора; 6 – блок питания и управления работы станцией; 7 – датчик кислорода; 8 – гидрофизический зонд; 8 – герметичные разъемы и коммутирующие кабели

Рис. 1. Одно боксовый лендер для работы с маломерных судов

Конструктивно блок пробоотборников состоит из основания, на котором установлены пять шприцев для проб воды объемом по 150 мл. Шприцы соединены гибкими трубками со штуцерами на верхней крышке рабочего бака. Поршни шприцов оттягиваются пружинами. В снаряженном состоянии поршни прижаты к верхней части шприцев, и удерживаются штифтами, связанными с кулачковым механизмом укрепленным на общей оси. Ось вращается посредством шагового двигателя управляемого от блока питания и управления работой станцией.

Перед началом работы шприцы и гибкие трубки промываются слабым раствором соляной кислоты. После чего дистиллированной водой. При снаряжении блока пробоотборников подводящие трубки и верхняя часть шприцев заполненной дистиллированной водой, что бы не допустить попадания воздуха внутрь шприцев. Работа с блоком пробоотборников проводилась в тесном контакте с гидрохимиками, что позволило добиться хорошей повторяемости результатов химического анализа.

Блок питания и управления работой станции состоит из управляющего контроллера и блока питания, размещенного в герметичном корпусе. На верхней крышке корпуса установлены два разъема, для пита-

ния постоянного перемешивающего устройства, и управления шаговым двигателем блока пробоотбора. Кроме того блок имеет герметичный поворотный выключатель, что позволяет запускать программу работы непосредственно перед постановкой станции на дно.

В качестве гидрофизического модуля-8 использовался сканирующий ADCP фирмы Aandegga RDCP600. Помимо акустической головки модуль может работать еще с 7 датчиками. В нашей модификации используется датчик температуры, и датчик и оптический датчик кислорода, так же фирмы Aandegga. Мы использовали скважность измерений 10 минут, что дает 144 точки по кислороду в сутки.

Всего за период 2014–2015 гг. осуществлено 5 постановок лендера. Все они оказались успешными. Что показывает надежность всех элементов и конструкции в целом. Основное усилие было направлено на усовершенствование методики пробоотбора, что бы увеличить количество анализов из одной пробы воды. Удалось сократить объем пробы на метан на 20 мл, что позволило определять поток аммония (NH_4). Таким образом, количество одновременно измеряемых параметров достигло 9, (Ph, Alk, PO_4 , Si, Mn, Fe, NH_4 , CH_4 , O_2). Анализ полученных материалов подтверждает их достоверность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Мировой океан: многомасштабность, многофазность, многопараметричность» и гранта РФФИ №15-05-04229.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.П.** Линейка лендеров ИОРАН // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ–2013», М.: АПР, 2013. Т.2. С. 298–302.

2. **Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Черняев Е.С., Лискин В.А., Лежнин В.А., Сагалевиц А.М.** Модификация лендера ИО РАН для работы с глубоководными обитаемыми аппаратами «Мир» (опыт работ на оз. Байкал). //XII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2011). Москва, ИОРАН, 23-25 ноября 2011. Материалы конференции. Т.2. С. 101–104.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абрамов А.М., 254
Алескерова А.А., 34
Ананьев Р.А., 198, 202

Б

Багатинский В.А., 97
Баранов В.И., 167
Белевитнев Я.И., 170, 323
Беспалов В.Г., 72
Богородский А.В., 93
Бондаренко А.Л., 47, 52
Бондарь А.В., 119
Бородин М.А., 123, 291
Бреховских А.Л., 256, 268
Буланов В.А., 67
Булатов В.В., 63

В

Владимиров И.Ю., 159
Владимиров Ю.В., 63
Вонсовский Н.Н., 248

Г

Гасников О.А., 43
Гольдин Ю.А., 131
Гонтарев С.В., 210
Гордеева Е.А., 240
Гринберг О.В., 256, 268
Гуреев Б.А., 131

Д

Демидова Т.А., 148
Демьшев С.Г., 88
Денисов Е.Ю., 175
Дианский Н.А., 139, 141
Дмитревский Н.Н., 198, 202
Душенин Ю.В., 280
Дымова О.А., 88
Дябиров Р.М., 306

Е

Евсенко Е.И., 256, 268
Егоров А.В., 318, 321, 323

Елкин Д.Н., 127
Ермаков И.Д., 248

Ж

Жевлаков А.П., 72
Жуков Ю.Н., 254
Жулева Е.В., 190

З

Завьялов А.К., 72
Зацепин А.Г., 127, 167
Звалинский В.И., 272
Зеньков А.Ф., 240
Зинченко А.Б., 167
Золотухин Д.Е., 236

И

Иванов В.В., 264
Иванов В.Н., 276
Ивельская Т.Н., 236
Ильинский Д.А., 223

К

Каевицер В.И., 175, 194
Каменев О.Т., 295
Каплуненко Д.Д., 25, 80
Карабашев Г.С., 308
Карабашева Э.И., 182, 186
Клюев М.С., 256, 268
Ковачев С.А., 213, 218, 276
Колобов Е.В., 240
Колчинский В.А., 295
Кортаев В.Н., 264
Корчагин Н.Н., 159
Костенич А.В., 240
Кочергин В.С., 244
Кочергин С.В., 244
Кречик В.А., 119
Кривцов А.П., 175
Крылов А.А., 218, 276
Кубряков А.А., 34
Кудрявцев В.Н., 34
Куклев С.Б., 167
Кульчин Ю.Н., 295

Л

Ладыченко С.Ю., 25, 80
Лазарюк А.Ю., 25, 80
Лактионова Н.В., 97
Левченко Д.Г., 223
Левченко О.В., 198
Лежнин В.А., 318
Лемешко Е.М., 115
Либина Н.В., 206, 288
Ликутов П.Е., 298
Лобанов В.Б., 25, 80
Лобковский Л.И., 223

М

Макаров Е.А., 72
Матвеевцев А.В., 72
Мелузов А.А., 198, 202
Метальников А.А., 190
Мизюк А.И., 145
Морозов А.В., 298
Морозов Е.Г., 79, 104
Мошаров С.А., 210
Мысленков С.А., 39, 119

Н

Нерсесов Б.А., 179, 182, 186
Никифоров С.Л., 194
Новотрясов В.В., 110

О

Оленин А.Л., 14
Ольховский С.В., 256, 268
Островский А.Г., 25, 80
Очередник В.В., 39, 167

П

Пака В. Т., 30
Пальшин Н.А., 302
Панасенкова И.И., 141
Патраков Ю.М., 72
Певневец Н.А., 248
Пермяков М.С., 110
Петров Ю.С., 295
Пименов А.А., 123
Пискунова Е.А., 302
Подымов И.С., 100

Подымова Т.М., 100
Полетаева М.А., 152
Пронин А.А., 170, 264

Р

Разманов В.М., 175
Ракитин И.Я., 268
Рашидов В.А., 190
Ржевский А.А., 72
Римский-Корсаков Н.А., 170, 179,
182, 186, 194, 264, 318, 321, 323
Рогинский К.А., 223
Родионов М.А., 131
Рожков А.Н., 321, 323
Розанов А.Г., 318
Росляков А.Г., 202

С

Савин А.С., 159
Сажнева А.Э., 256, 268
Серых И.В., 163
Скляр В.Е., 76
Слепышев А.А., 97
Смирнов Г.В., 14
Смолянинов И.В., 175
Смолянинов И.В., 194
Соколов В.А., 108, 114
Соловьёв Д.М., 34
Сорохтин Н.О., 194
Ставров К.Г., 43, 240
Станичная Р.Р., 34
Станичный С.В., 34
Степанов Д.В., 110

Т

Тарасов А.С., 260
Тимашкевич Г.К., 276
Трусенкова О.О., 25, 80
Трусилов В.Т., 217

Ф

Фазлуллин С.М., 260
Федотов Г.А., 135
Фомин В.В., 141
Фрей Д.И., 79

Х
Халиков И.С., 232

Ц
Цыганова М.В., 115

Ч
Часовников В.К., 310
Чербаджи И.И., 272
Черников А.Г., 206
Черников Г.А., 288
Чумаков Ю.В., 306

Ш
Шавырин И.А., 217
Шахтарин Б.И., 306
Швоев Д.А., 25

Шрейдер А.А., 256, 268
Шрейдер Ал.А., 256, 268
Шульга Т.Я., 84

Щ
Щевъёв В. А., 60
Щевъёв В.А., 56

Э
Элбакидзе А.В., 194
Элбпкидзе А.В., 175

Я
Яковлев Д.В., 302
Ярощук И.О., 110
Ясакова О.Н., 310